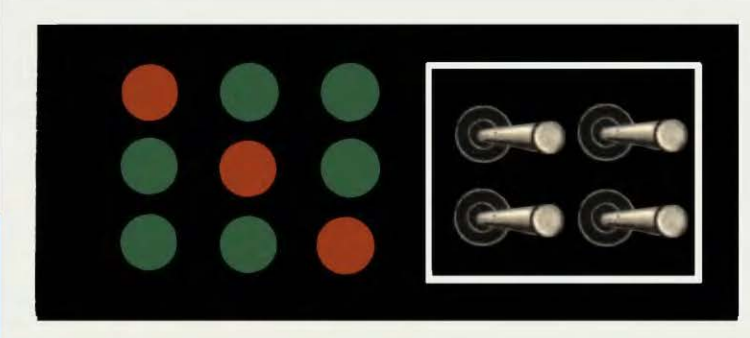




А. Б. ГОРДИН

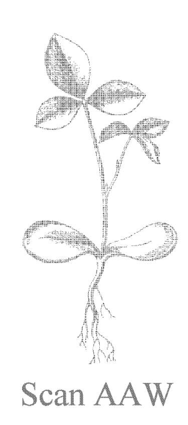
ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ КИБЕРНЕТИКА

МАССОВАЯ
РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 842

А. Б. ГОРДИН

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ КИБЕРНЕТИКА





«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1974

6Ф2.9
Г 68
УДК 62-52

Гордин А. Б.

Г68 Занимательная кибернетика. М., «Энергия», 1974.

64 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 842)

В книге в занимательной форме рассказывается о работах, о двоичной арифметике и теории игр, о работе вычислительных машин, о биоэлектрических системах управления.
Книга рассчитана на широкий круг радиолюбителей.

Г $\frac{30403\text{-}067}{051(01)\text{-}74}$ 290-74 6Ф2.9

ПРЕДИСЛОВИЕ

Кибернетические системы, оснащенные быстродействующими электронными вычислительными машинами, управляют производством и ведут конторские дела, обрабатывают результаты научных экспериментов и предсказывают погоду, переводят с одного языка на другой и ставят диагнозы заболеваний, составляют графики движения поездов и обучают школьников правилам грамматики, сочиняют стихи и играют в шахматы.

Можно было бы еще долго перечислять, на что способны созданные человеком кибернетические системы уже в наши дни И все же неизмеримо бо́льшие возможности раскрывает перед человечеством кибернетика в будущем, даже в ближайшие годы. Здесь может оказаться недостаточно богатым воображение самых смелых фантастов. Однако чтобы реализовать эти огромные возможности, недостаточно усилий узких специалистов (кибернетиков) — ученых и инженеров. Нужно, чтобы тысячи рядовых тружеников (рабочих, колхозников, служащих) овладели основами кибернетики и подружились с этой наукой надолго и всерьез.

Эта книга — одна из тех, которые должны помочь в этом пытливым и любознательным, всем, кто интересуется достижениями науки и техники. Читатель найдет здесь рассказы о роботах, о двоичной арифметике и теории игр, о работе вычислительных машин, о биоэлектрических системах управления.

В отличие от других подобных популярных изданий, в ней поставлена еще одна задача: помочь тем читателям, которые желали бы своими руками построить достаточно простые кибернетические устройства и модели. С каждым годом растет армия энтузиастов-радиолюбителей. Прежде всего это наша молодежь, учащиеся школ и технических училищ, студенты техникумов и вузов, молодые рабочие и колхозники. Автор надеется, что эта книга в некоторой степени удовлетворит запросы весьма обширной категории читателей. Они найдут здесь описания многих самодельных кибернетических моделей, приборов и устройств, которые можно использовать в учебе, на производстве, в быту и в часы досуга.

Книга может оказаться полезной для учителей и руководителей радиотехнических кружков школ и внешкольных учреждений. Она поможет им в выборе тематики работы кружков и в решении вопросов о конкретном содержании их деятельности. Все описанные в книге устройства и модели были сконструированы в последние годы радиолюбителями в лаборатории кибернетики и электроники Дома пионеров Свердловска под руководством и при непосредственном участии автора. Многие из описанных моделей и устройств неоднократно демонстрировались на республиканских, всесоюзных и международных выставках и были отмечены дипломами и медалями.

Эта небольшая книга — только начало увлекательного путешествия в мир кибернетики. Впереди у читателя новые встречи с другими книгами, новые открытия, новые находки. Автор понимает, что в этой маленькой книге невозможно уместить тот огромный мир науки, которая называется кибернетикой. Но если читателя заинтересует эта книга, и он сам построит кибернетический прибор — значит, задача, поставленная автором, выполнена.

Автор благодарит канд. пед. наук Д. М. Комского и канд. техн. наук А. Ф. Горшкова за дружеское и творческое участие в подготовке рукописи.

Автор

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЖЕЛЕЗНЫЕ «ЛЮДИ»

ВСЕ НАЧАЛОСЬ С МЕЧТЫ

« . . . Огромный автоматический трактор, тяжело громыхая, надвигался на Глорию. В считанные доли секунды Вестон опомнился. Но эти доли секунды решили все. Глорию уже нельзя было догнать. Вестон мгновенно перемахнул через перила, но это было явно безнадежная попытка. Мистер Стразерс отчаянно замахал руками, давая знак рабочим остановить трактор. Но они были всего лишь людьми, и им нужно было время, чтобы выполнить команду.

Один только Робби действовал без промедления и точно. Делая гигантские шаги своими металлическими ногами, он устремился навстречу своей маленькой хозяйке. Дальше все произошло почти одновременно. Одним взмахом руки, ни на мгновенье не уменьшив своей скорости, Робби поднял Глорию так, что у нее захватило дыхание. Вестон не совсем понимал, что происходит, он скорее почувствовал, чем увидел, как Робби пронесся мимо него, и растерянно остановился. Трактор проехал по тому месту, где должна была находиться Глория, на полсекунды позже Робби, прокатился еще метра три и, заскрежетав, затормозил».

Так современный американский писатель А. Азимов в сборнике фантастических рассказов «Я, робот» описывает поведение искусственного «железного человека», выполняющего в семье инженера Вестона роль чуткой и внимательной электронной няньки.

Пожалуй, нянька — несколько необычная профессия для робота. А впрочем — почему бы и нет?! Ведь выполняют «железные люди» на страницах научно-фантастических рассказов обязанности монтажников, вычислителей, сторожей, диспетчеров, пилотов, разведчиков, исследователей . . . Чем же хуже мечта о роботе-няньке?

Кибернетические искусственные «живые» существа — умные, сильные, ловкие помощники человека — стали почти обязательными персонажами художественных произведений писателей-фантастов, человекоподобные роботы трудятся в шахтах и рудниках, опускаются на дно морей и океанов, поднимаются в заоблачные высоты, улетают в неведомые космические дали, всюду выполняя для человека самую трудную, а порой и самую опасную работу. Читаешь рассказы об этом, и невольно возникает вопрос: а нельзя ли действительно, используя достижения науки и техники, создать искусственный организм, который действовал бы, как человек?

Мечта о создании искусственных живых существ волнует человечество на протяжении многих веков. Человеку всегда хотелось иметь рядом с собой «существо», похожее на него, но обладающее большей силой, находчивостью, мудростью — послушного помощника и надежного друга. Эта мечта нашла отражение в многочисленных античных мифах и легендах средневековья, в художественных произведениях писателей и поэтов разных времен (Э. Гофман, Г.-Х. Андерсен, И.-В. Гете, А. Толстой, К. Чапек и многие другие).

Интересна древняя легенда, записанная чешским писателем Алоизом Ирасеком. Во времена императора Рудольфа II жил в Праге ученый мудрец по имени Лев Бен Бецалель. Этот ученый создал глиняного раба — Голема — дровосека и водоноса, обладающего необычной силой. Ученый мог оживлять Голема, вкладывая ему в рот записку с каббалистическими заклинаниями, и глиняный раб послушно колол дрова и носил воду. Но однажды Лев Бен Бецалель ушел из дому, позабыв вынуть записку, и Голем изрубил всю мебель и затопил жилище. Никто не мог его остановить. Голем вскоре стал грозой всей округи, люди в страхе бежали от него. Испуганный Лев Бен Бецалель вынужден был уничтожить свое детище.

Другая древняя легенда рассказывает, что в XIII в. философ и алхимик Альберт Великий построил железного человека и сделал его привратником в своем доме. Железный привратник открывал дверь и приветствовал входящего поднятием руки. Был он так похож на человека, что однажды очень

напугал ученика Альберта Великого — Фому Аквинского, и последний в страхе перед «нечистой силой» разрушил его.

В средние века среди ученых-алхимиков было широко распространено учение о «гомункулюсе», маленьком искусственном человеке, которого якобы можно создать в лаборатории химическим путем. Попыток создать «гомункулюса» было в те времена не меньше, чем попыток получить «философский камень», обладающий якобы чудесным свойством обращать все металлы в золото.

До нашего времени дошло немало преданий о талантливых мастерах древности, которые создавали забавные механические игрушки, имитировавшие внешний вид и движения человека, а также различных животных, летающих птиц, бегающих и рычащих зверей и пр. Герон Александрийский, живший в I веке до нашей эры, в книге «Театр автоматов» описал даже устройство целого театра, представление в котором разыгрывали фигурки — куклы, приводимые в движение с помощью системы зубчатых колес, блоков и рычагов. Пьеса, которую исполнял «Театр автоматов» Герона Александрийского, передавала легенду о Навплии, относящуюся к временам Троянской войны, — месть Навплия грекам, побившим его сына Паламеда камнями. Пьеса содержала пять актов и восемь картин.

В первом акте зритель видел, как данайцы строят корабли перед походом: они пилят, строгают, бьют молотками; слышны соответствующие звуки. Во втором акте люди тянут построенные суда с помощью веревок в воду. В третьем акте перед зрителями открывалась картина спокойного моря с кильватерной колонной парусников и резвящимися в воде дельфинами. Следующая сцена изображала шторм, строй кораблей нарушался, они собирались вместе. В четвертом акте показывалась месть Навплия, который зажигал факел, стоя на скале; при этом присутствовала Афина. Мореплаватели, приняв огонь факела за свет маяка, направляли корабли на скалы. В последнем, пятом акте развертывалась картина кораблекрушения. В волнах появлялся плывущий Аякс, слышался удар грома и сверкала молния, которой Афина поражала Аякса. Аякс скрывался в волнах, фигура Афины исчезала, и представление заканчивалось.

В период расцвета античной механики существовало немало других автоматических игрушек подобного рода, созданных талантливыми мастерами.

РОДИЧИ ЧАСОВ И МУЗЫКАЛЬНОЙ ШКАТУЛКИ

С развитием механики и в особенности часового производства в XVI—XVIII вв. механические модели живых существ стали очень популярными, над их конструированием и изготовлением увлеченно трудились многие мастера-часовщики. Создание такой модели-автомата было тогда как бы экзаменом на аттестат технической зрелости механика, сулило ему известность и славу. Собственно говоря, многих мастеров-механиков того времени даже неправильно называть часовщиками. Это были настоящие ученые, талантливые инженеры-конструкторы. Некоторые из них достигали в своей работе столь высокого мастерства и совершенства, что их изделия представляли собой замечательные произведения искусства.

В Музее изящных искусств швейцарского города Невшателя хранятся удивительные машины-автоматы — «механические люди», построенные в XVIII в. талантливыми часовщиками Пьером Жаком и его сыном Анри Дро. Искусным швейцарским мастерам удалось добиться поразительной слаженности, живости и правдоподобия движений холодных и мертвых механизмов, приводимых в действие обычным часовым устройством с заводной пружиной.

... За столиком на скамейке сидит большая кукла ростом с пяти-шестилетнего ребенка. Это писец. В его правой руке — гусиное перо, перед ним на столике — чернильница и лист бумаги. Писец аккуратно макает в чернильницу и, наклонив голову, старательно выводит на бумаге красивыми крупными буквами ровные строчки. Окончив писать, он на несколько мгновений задумывается, поворачивает голову, берет песочницу, посыпает лист песком для просушки и, спустя несколько секунд, стряхивает песчинки.

Рядом с писцом — художник с карандашом в руке. Склонившись над бумагой, он не спеша рисует на листе различные фигурки, время от времени останавливаясь и созерцая нарисованное, размышляет, дует на бумагу, чтобы удалить с нее соринки.

Третий «механический человек» часовщиков Дро — девушка-музыкантша. Эта кукла, таких же размеров, как и ее «братья», сидит за фисгармонией. Пальцы ее рук бегают по клавишам, голова поворачивается, как бы следя глазами за движениями рук. Музыкантша четко и легко играет трели и быстрые пассажи, ее грудь поднимается и опускается, словно она не в силах сдержать волнения, навеянного музыкой. Окончив игру, исполнительница слегка наклоняет голову, благодарит слушателей.

Андроиды (так были названы эти выдающиеся произведения механики в честь их талантливых создателей) и в наши дни вызывают большой интерес и неизменное восхищение посетителей Невшательского музея. Хотя «механические люди» имитируют лишь внешнее сходство с человеком и некоторые его движения, у зрителей долго сохраняется такое чувство, будто перед ними настоящие живые существа.

Не меньшую популярность в XVIII в. завоевал другой создатель диковинных «ме-

ханических людей»-автоматов —французский механик Жак Вокансон. Из его работ наиболее известен флейтист — кукла величиной с человека, державшая у губ флейту. Вдувая воздух и перебирая пальцами в определенной последовательности клапаны флейты, автомат исполнял 11 различных мелодий.

Другой шедевр Вокансона — утка — могла воспроизводить довольно большой комплекс различных движений. Она не только крякала и передвигалась, переваливаясь с боку на бок, но также плавала и плескалась в воде, двигала головой, расправляла крылья и приводила в порядок перья с помощью своего клюва. Кроме того, утка пила воду и клевала зерна, «переваривая» их с помощью химических веществ (для этого у нее в брюшке была устроена своеобразная химическая лаборатория).

Рассказывают, что Вокансон однажды встретился с молодым Анри Дро после того, как последний с большим искусством сделал пару механических рук для юноши, получившего увечье на охоте. Ознакомившись с механизмом этих рук, Вокансон сказал, обращаясь к Дро: «Молодой человек, вы начинаете с того, чем я хотел бы кончить».

Вокансон много ездил по Европе, демонстрируя всюду свои замечательные автоматы. Побывал он и в России. Здесь одна из его уток сгорела во время пожара на Макарьевской ярмарке в Нижнем Новгороде. В настоящее время некоторые из известных автоматов Вокансона хранятся в кабинете его имени в Парижской консерватории искусств и ремесел.

XVIII в. дал миру ряд других выдающихся конструкторов механических автоматов. В Венском техническом музее и сейчас находится и действует один из первых искусственных самописцев, изготовленный в те годы придворным механиком Фридрихом Кнауссом. Этот автомат представляет собой аллегорическую фигуру сидящего на шаре человека, который может писать на листе бумаги текст, содержащий до 79 букв. А в Государственном Эрмитаже в Ленинграде хранится относящийся к этой же эпохе интересный и оригинальный автомат — часы «Павлин» Кокса с подвижными фигурами совы, петуха, павлина, грибов, под шляпками которых помещены цифры, указывающие время. Механизм подвижных фигур заводится и устанавливается на определенное время, при наступлении которого клетка с совой вращается, колокольчики, окаймляющие ее, мелодично звенят, сова хлопает глазами, петух поднимает голову и поет, а павлин распускает хвост и вращается вокруг своей оси. Часы «Павлин» были отремонтированы замечательным русским механиком И. П. Кулибиным в самом конце XVIII в. и действуют до настоящего времени.

И. П. Кулибин создал ряд любопытных автоматов, в том числе знаменитые часы «яичной фигуры», которые также хранятся теперь в Государственном Эрмитаже. Часы эти по внешнему виду и величине напоминают гусиное яйцо. В золотом корпусе художественной работы находится не только часовой механизм; здесь же встроен целый миниатюрный театр автоматов, где крохотные фигуры разыгрывают сцену, сопровождаемую мелодичным перезвоном. Чтобы представление началось, надо повернуть специальную стрелку. Ровно в полдень часы играют гимн, а в течение второй половины суток вызванивают мелодию, сочиненную самим Кулибиным. Каждый час, полчаса и четверть часа отмечаются особым перезвоном.

Увлечение заводными автоматами — механическими подобиями человека и животных — продолжалось в XIX в. и даже в начале XX в. Механические игрушки-автоматы стали предметом развлечения взрослых и детей.

Особенно распространены были заводные поющие птицы в клетках. Меха, нагнетающие воздух в звуковой прибор, приводились в движение все тем же часовым механизмом со стальной пружиной.

Однако «большая» наука в XIX в. заметно охладела к механическим моделям живых организмов, а потом и вовсе потеряла к ним интерес. Андроиды сыграли к тому времени свою роль в развитии техники. Опыт, накопленный поколениями мастеров-механиков при конструировании и постройке всевозможных игрушек-автоматов, помог разработать и проверить на практике основные принципы и технические средства машиностроения и автоматики, что позволило перейти к машинному производству. Машины и механизмы — потомки «механических людей» Дро и Вокансона, оснащенные тепловыми, а позднее и электрическими двигателями, заняли решающие позиции в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте. Теперь взору восхищенных зрителей все чаще представлялись уже не диковинные машины-игрушки, созданные для забавы и развлечения, а и деловые и серьезные машины-труженики. Андроиды и другие механические подобия человека и животных нашли свой последний приют в тихих залах технических музеев.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ «ЛЮДИ»

Новые времена принесли с собой и новые идеи. Электричество, радио, достижения физики и техники неизмеримо расширили возможности моделирования живых существ. На смену механическим «людям» — андроидам, пришли электрические «люди» — роботы.

Слово «робот» обязано своим появлением талантливому чешскому писателю Карелу Чапеку. С его легкой руки название «робот» прочно закрепилось за всевозможными само-

стоятельно работающими техническими системами — от простейших автоматов, торгующих спичками, до сложных систем автоматической ориентации современных ракет. Сегодняшние роботы не похожи на человекообразных роботов, описанных Чапеком. Это сложные и тонкие приборы, созданные на основе новейших достижений науки и способные совершать огромное количество операций с быстротой и точностью, недоступной человеку и даже группе людей. Однако понятие «робот» имеет и более узкий смысл — устройство, похожее по внешнему виду, некоторым чертам поведения на человека или животных. Такие роботы создаются в рекламных, учебных и других специальных целях.

Одним из первых человекоподобных роботов был мистер Телевокс, построенный американским инженером Венсли. Конструктор придал своему творению внешнее схематическое сходство с человеком. Телевокс управлялся на расстоянии с помощью свистков. По сигналам свистков он мог пускать в ход пылесос и вентилятор, зажигал лампы в комнате, открывал окна и двери и выполнял некоторые другие элементарные действия. Кроме того, он мог произносить несколько фраз, записанных на пленку. Впоследствии после переделки Телевокс был использован в качестве бессменного «дежурного» при водопроводной системе одного из нью-йоркских небоскребов. Он следил за уровнем воды, пускал в ход насосы, отвечал на телефонные запросы о состоянии водопроводной системы и т. п.

Другой «электрический человек» — Эрик — был изготовлен в 1928 г. английским инженером Ричардсоном. Этот робот, внешне похожий на закованного в доспехи средневекового рыцаря, также управлялся на расстоянии. Выполняя команды, он мог садиться, вставать, отвечал на простые вопросы; при ответе у него светились глаза и во рту загорались маленькие зеленые лампочки.

В 1932 г. англичанин Гарри Мэй сконструировал огромный двухтонный робот Альфа, который не только умел садиться, вставать и двигать руками, но и говорил, свистел, пел и даже стрелял из револьвера, причем с расстояния 20 *м* всаживал все пули в «яблочко» мишени.

В 1933 г. на выставке «Столетие прогресса» в Чикаго робот использовался в качестве лектора. Начиная лекцию о процессе пищеварения, он расстегивал жилет, открывал грудь и живот, стенки которого были прозрачными, и показывал пальцем пищевод, желудок, кишечник и печень, объяснял строение внутренних органов.

Ряд роботов, управляемых по радио, сконструировал и построил в Австрии инженер Август Губер. Эти роботы ходили, двигали головой и руками, мигали, курили, разговаривали по телефону. Немало других конструкторов последних десятилетий отдали дань идее о создании искусственного электрического человека, могучего и покорного слуги своего хозяина.

При этом многие из них всерьез полагали даже, что именно такие роботы заменят в будущем (подобно роботам в пьесе Чапека) на заводах и фабриках живых рабочих и служащих. Однако в дальнейшем стало ясно, что подобные роботы — это в сущности такие же игрушки, какими были андроиды XVIII в., хотя они и построены с применением последних достижений электроники и автоматики.

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ «ЗВЕРИНЕЦ»

В 50-х годах нашего столетия конструкторы роботов стали наделять свои создания некоторыми новыми способностями, такими, каких не было у их старших механических и электрических собратьев: эти роботы получили способность выполнять не только «жесткую», заранее заданную программу, но и действия, определяющиеся обстановкой, окружающей средой. Самый простой из таких роботов был построен едва ли не в первые годы рождения кибернетики по предложению Норберта Винера.

Модель представляла собой небольшую тележку с электродвигателем, питающимся от батарейки, помещенной на этой же тележке. Управление движением тележки осуществлялось с помощью двух фотоэлементов и электронных усилителей. При одинаковой освещенности обоих фотоэлементов управляющая система находилась в равновесии, двигатель оставался выключенным и модель была неподвижна. При более сильной освещенности одного из фотоэлементов равновесие нарушалось, срабатывало реле, включая двигатель. В зависимости от направления вращения двигателя тележка начинала двигаться либо в одну, либо в другую сторону до тех пор, пока не уравнивались освещенности обоих фотоэлементов. Модель была отрегулирована так, что при срабатывании реле тележка двигалась в сторону более яркого света. Другая модель, наоборот, стремилась спрятаться от света и обшаривала комнату в поисках темного угла.

Английский физиолог Грей Уолтер сконструировал несколько более сложных устройств, получивших впоследствии название «черепах», так как они действительно напоминали этих животных своими внешним видом и медлительностью действий. «Черепаха» Эльмер (электромеханический робот) была выполнена в виде небольшой трехколесной тележки, на которой были установлены два мотора (ход вперед — назад и поворот), несколько электромагнитных реле, электронная аппаратура и питающий аккумулятор. Несмотря на простоту устройства этой «черепахи», поведение ее было довольно сложным. Пока аккумулятор

ее был заряжен, она вела себя как сытое животное; при слабом освещении или в темноте она медленно передвигалась по комнате, при столкновении с каким-либо препятствием (буфетом, ножкой стола и пр.) она останавливалась, сворачивала в сторону и обходила это препятствие. Если в комнате появлялся яркий источник света, Эльмер вскоре замечал его и направлялся к свету, но не подходил к лампе слишком близко, боясь «ослепления». По мере разряда аккумулятора «черепашка» начинала проявлять все больший «интерес» к источнику света, так как он освещал «кормушку» — место для зарядки аккумулятора. Когда аккумулятор был разряжен настолько, что нуждался в подзарядке, черепашка смело направлялась к источнику света.

Поведение Эльмера можно было еще больше усложнить, прикрепляя к «панцирю» «черепахи» горящую электрическую лампочку. Если в комнате помещали зеркало, черепашка устремлялась к нему, так как «узнавала» себя в зеркале. Она могла часами «рассматривать» себя в зеркале, то приближаясь к нему , то удаляясь и поворачиваясь перед ним.

Позднее Грей Уолтер построил новую черепашку Эльзи (Electro-Light-Sensitiv — электронно-светочувствительный робот), которая являлась копией своего «братца», но вела себя немного иначе: более активно реагировала на малейшие изменения освещенности, быстрее и больше двигалась, расходовала больше энергии и чаще посещала «кормушку». Если обе черепашки были в одной комнате, они быстро находили друг друга, сближались и начинали кружиться в своеобразном танце.

Еще более интересной была третья черепашка Грея Уолтера — Кора, как он ее назвал (Conditional Reflex Automat — автомат условного рефлекса). Этот кибернетический зверек обладал не только «зрением» и «осязанием», как его предшественники, но еще и «слухом»: к его органам чувств конструктор добавил микрофон. Кроме того, его можно было обучать, вырабатывая у него что-то вроде «условного рефлекса» (благодаря наличию элемента памяти в виде конденсатора, способного в течение некоторого времени сохранять накопленный электрический заряд).

Грей Уолтер вырабатывал у Коры «условный рефлекс», обучал ее останавливаться перед препятствием и сворачивать в сторону по звуковому сигналу — свистку. Для этого он подавал свисток всякий раз, когда Кора при своем движении по комнате натыкалась на какую-либо преграду. По сигналу свистка она останавливалась, отступала назад и сворачивала в сторону, даже если перед ней никакого препятствия не было.

Своеобразные черты поведения описанных «кибернетических игрушек» придавали им большее сходство с настоящими живыми существами, отличительной способностью которых является именно умение действовать целесообразно, с учетом окружающей обстановки. Поэтому в дальнейшем роботы, моделирующие поведение живых организмов, стали предметом пристального внимания и изучения ученых-кибернетиков, да и не только ученых. В течение нескольких лет был создан целый «зверинец» кибернетических животных: черепах, лисиц, белок, собак и т. п. Принцип действия этих «зверюшек» был общий, и отличались они главным образом внешним оформлением. Их изготовляли радиолюбители, студенческие научные общества, научные лаборатории и кружки юных техников во многих странах. Широкую известность получили: «мышь», отыскивающая дорогу в лабиринте, ее построил американский ученый Клод Шеннон; «белка», собирающая орехи и относящая их в гнездо, созданная американцем Эдмундом Беркли; «лисицы» Барбара и Джоб, построенные французом Альбером Докроком и др. В Ленинградском электротехническом институте был построен «щенок», реагировавший на «пищу» и свет. Вместо свистка в качестве условного раздражителя было использовано . . . нажатие на его хвост. Большую известность получил кибернетический робот Ван, построенный студентами и преподавателями Свердловского пединститута. Перечисление таких моделей можно было бы продолжить. Конструирование различных кибернетических существ продолжается.

ДЛЯ ЧЕГО НУЖНЫ ЖЕЛЕЗНЫЕ «ЛЮДИ»

Когда человек создает машину — умного, сильного и ловкого слугу и помощника в его делах, вовсе нет необходимости в том, чтобы этот слуга и помощник был внешне похож на человека или какое-либо другое живое существо. Важно не то, как он выглядит, а как исполняет возложенные на него обязанности. Нужно ли, например, чтобы «стальной конь» — трактор — был похож своим внешним видом на живую лошадь? Или, скажем, чтобы автомат для продажи газированной воды имел внешность миловидной продавщицы? Стоит лишь задеть подобный вопрос, как сразу же станет ясной нелепость чего-либо подобного.

Для чего же нужны человекоподобные роботы? Почему с времен Герона Александрийского до наших дней многие поколения энтузиастов трудились и продолжали трудиться, создавая подобия искусственных животных и человека, используя для этого все известные им достижения науки и техники, делая при этом новые изобретения и открытия?

Мы уже упоминали о том, что во времена Дро и Вокансона талантливые мастера созданием механических «людей» демонстрирова-

ли свое умение и опыт. Вспомним еще раз Левшу Н. С. Лескова, который ухитрился подковать «аглицкую блоху», чтобы показать англичанам, что и русские умельцы «не лыком шиты». Многие электрические «люди» первой половины XX в. также были построены по сути дела в целях рекламы.

Робот-экскурсовод, «работающий» в Отделе автоматики, телемеханики и кибернетики Московского политехнического музея (рис. 1), сам рассказывает посетителям музея о себе: « . . . Я родился 1 января 1963 г. Мои отцы — инженеры Марк Александров и Марк Горохов — в течение ряда недель думали над тем, каковы смысл и цель моей жизни. И вот в соответствии с их решением я — робот — должен выступать как экскурсовод Политехнического музея. В залах автоматики, телемеханики и кибернетики я сопровождаю посетителей от экспоната к экспонату и отвечаю на вопросы любознательных.

Являюсь ли я каким-то чудом техники? Вовсе нет. Я функционирую на общеизвестных основах телемеханики и разговариваю при помощи магнитофонной установки. После того как я ознакомлю посетителей со многими отраслями промышленности, в которых применяются системы телемеханики, я еще рассказываю и о своей собственной конструкции. Таким образом, я выполняю одновременно две роли: музейного экскурсовода и экспоната».



Рис. 2. Робот А. М. Аттона.



Рис. 1. Робот Сепулька.

Этот робот-экскурсовод, которому его авторы дали смешное имя Сепулька, приводится в движение электромотором. В «груди» его установлены микрофон и электронный усилитель. «Голова» также начинена электронной аппаратурой. Электропитание робота обеспечивается серебряно-цинковыми аккумуляторами.

На Выставке достижения народного хозяйства в Москве большой популярностью пользовался коллега Сепульки — робот Сибиряк-2, также выступавший в роли экскурсовода.

Вот еще один человекоподобный робот специального назначения (рис. 2). Его создатель — американский инженер А. М. Аттон избрал для него «профессию» киноактера. Эта кукла-робот была изготовлена для исполнения главной роли в одном из кинофильмов для детей. Она могла передвигаться в любом направлении, двигать руками, встряхивать и кивать головой, глаза ее, как живые, могли двигаться вправо и влево. Управление всеми движениями куклы во время киносъемок производилось по радио (рис. 3): внутри нее и в специальной тележке, связанной с ней, размещались радиоаппаратура

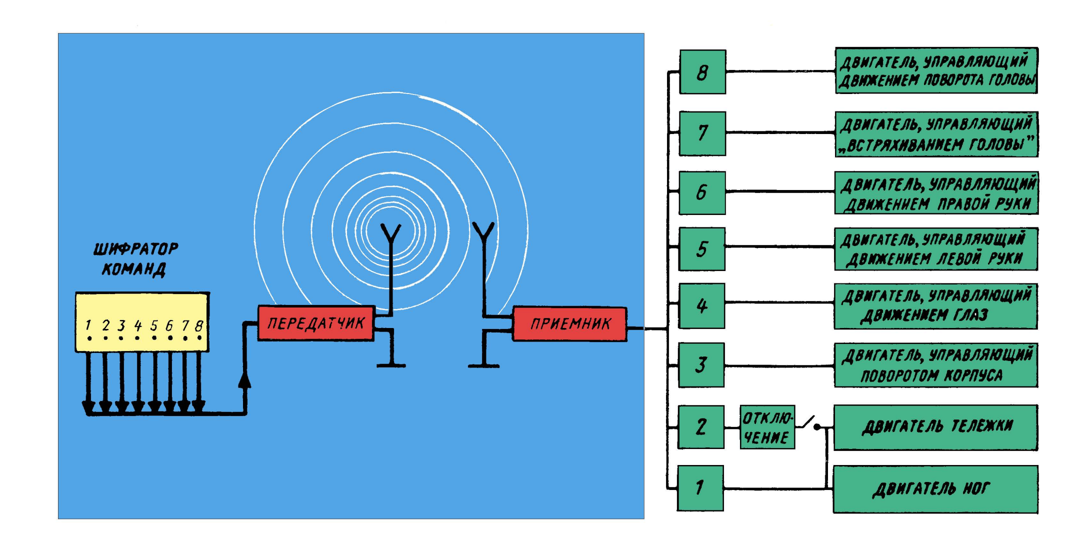


Рис. 3. Функциональная схема робота «Радуга».

и аккумуляторы. Рейнбоу (так назвали куклу, по английски — rainbow — радуга) прекрасно справилась с порученной ей ролью.

Приведенные примеры иллюстрируют возможности практического использования человекоподобных роботов. Почти все искусственные живые существа, созданные человеком, — андроиды, роботы, киберентические «черепахи» и другие животные — это не только забавные игрушки. Они ценны для людей как своеобразный сплав инженерной мысли и искусства народных умельцев. Не случайно многие из этих игрушек хранятся в музеях и считаются шедеврами.

ЗНАКОМЬТЕСЬ — КИН

Человек с неослабевающей энергией продолжает штурмовать Космос. Все новые космические корабли отправляются к Луне, Венере, Марсу. Автоматическая аппаратура производит фотосъемку поверхности далеких миров, изучает их рельеф, атмосферные условия. Недалек тот день, когда нога человека ступит на таинственную поверхность неведомой планеты.

Много неожиданностей и опасностей подстерегает там первооткрывателей: непривычная атмосфера, изнуряющая жара и леденящий холод, высокий уровень радиации, незнакомые растения и животные — всего не предугадаешь. Роботы как автоматические разведчики могут сыграть большую роль в освоении планет Солнечной системы. Они способны одновременно обнаружить опасность и предупредить о ней отважных космонавтов.

Предлагаем читателям заняться постройкой модели такого робота-разведчика, способного помочь человеку в исследовании незнакомой среды. В процессе изготовления этого «железного человека» энтузиасты-конструкторы смогут познакомиться с основными узлами и схемами кибернетических машин, приобретут много полезных знаний и навыков. И пусть наш КИН — «кибернетический исследователь неведомого» — будет исследовать всего лишь квартиру конструктора или ближайшие окрестности его дома. Немного фантазии — и он зашагает по «пыльным тропинкам далеких планет».

В основу схемы нашего робота положено описание «Кибернетического путешественника», опубликованное в журнале «Моделист-конструктор». Конструкция КИНа разработана с таким расчетом, чтобы можно было в случае надобности видоизменять и совершенствовать его электронную схему, вводить новые узлы и устройства, обеспечивая более обширную программу работы модели.

Наш КИН (рис. 4) может выполнять ряд действий, присущих живому организму и необходимых разведчику во время путешествия по неведомой планете. В темноте он «дремлет», оставаясь неподвижным. При включении освещения он «пробуждается» и начинает двигаться. Передвигается КИН осторожно, внимательно осматривая дорогу. Он может двигаться вперед и назад, может свернуть вправо или влево, когда соответственно справа или слева от него появляется яркий источник света. Если на пути препятствие, робот отступает и пытается обойти преграду. Так же поступает КИН и в тех случаях, когда обнаруживает впереди какую-либо опасность:

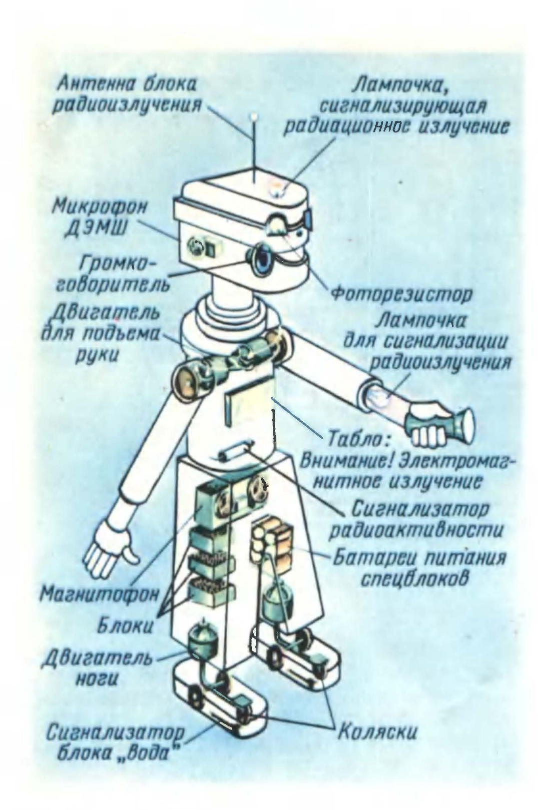


Рис. 4. Кибернетический исследователь неведомого КИН.

чрезмерно крутой спуск (пропасть), водную преграду, огонь или сильный источник тепла.

Исследователю незнакомой среды необходимо знать, нет ли в этой среде губительных для организма излучений. Ни одно живое существо не может долго находиться там, где действует сильный источник радиоактивного излучения. И здесь КИН может быть полезен человеку. Как только робот попадает в зону, где имеется радиоактивное излучение, он поднимает правую руку, окрашенную в красный цвет, сигнализируя об опасности, на шлеме у него загорается красная лампочка, а сирена, установленная внутри него, подает звуковой сигнал тревоги.

Радиоволны являются основным видом связи космонавта с родной планетой. Поэтому для космических путешественников очень важно своевременно обнаружить радиосигналы, поступающие с Земли или с других космических кораблей.

Наш робот снабжен блоком, чутко реагирующим на появление в окружающем пространстве электромагнитного излучения. При обнаружении электромагнитных волн, лежащих в пределах частотного диапазона 200 *кгц*—5 *Мгц*, робот поднимает левую руку, окрашенную в синий цвет. На груди у него загорается табло с надписью: «Внимание! Электромагнитное излучение», а из громкоговорителя, установленного внутри робота, раздается голос: «Будьте внимательны, электромагнитное излучение».

Интересная особенность нашего кибернетического исследователя — его способность к накоплению «жизненного опыта», т. е. к образованию «условного рефлекса». Если подавать звуковой сигнал (свист) всякий раз, когда КИН встречается с какой-нибудь опасностью (попадает в воду, приближается к огню или останавливается перед пропастью), то вскоре он «поймет» смысл этого звукового сигнала и в дальнейшем будет достаточно одного свистка, чтобы робот остановился, отступил назад и потом выбрал другой путь.

Функциональная схема КИНа изображена на рис. 5.

При включении робота в темноте он остается неподвижным («дремлет»), так как отключены все его узлы, кроме блока «Световой фон». При достижении заданного минимального уровня освещенности срабатывает реле $P7$ в этом блоке, и его контакт $P7_1$ подает питание на все остальные узлы схемы — робот «просыпается». Двигатель $Дв_1$ через понижающий редуктор приводит во вращение задние колеса. Направление движения «вперед» или «назад» изменяется переключением контактов реле $P8$. Движение робота вправо или влево обеспечивает двигатель $Дв_2$, который через понижающий редуктор поворачивает подвеску рулевого колеса относительно продольной оси. Направление поворота (вправо или влево) определяется полярностью напряжения, подводимого к якорю двигателя $Дв_2$ через контакты $P3_1$, $P3_2$, $P4_1$, $P4_2$, $P4_1$, $P5_1$.

Пока реле $P3$ и $P4$ на выходе блока «Ориентация на свет» обесточены, направление движения КИНа определяют контакты $P4_1$ и $P5_1$, которые замыкаются кулачками специального профиля, приводимыми во вращение двигателем $Д_1$. Кулачки рассчитаны так, что при переключении контактов $P4_1$ контакты $P5_1$ замкнуты и обеспечивают движение робота влево (на рис. 5 контакты показаны в нормальном состоянии). Когда срабатывают контакты $P5_1$, контакты $P4_1$ размыкаются, и робот начинает двигаться вправо. Таким образом, контакты $P4_1$ и $P5_1$ обеспечивают движение робота по зигзагообразной траектории. Если под воздействием яркого света срабатывает реле $P3$ или $P4$, то КИН движется соответственно влево или вправо, независимо от переключений контактов $P4_1$ и $P5_1$. Если оба реле $P3$ и $P4$ сработали одновременно, то двигатель $Д_2$ оказывается отключенным, и движение робота продолжается по прямой (работает двигатель $Дв_1$).

Теперь рассмотрим, как ведет себя КИН при встрече с «опасностью».

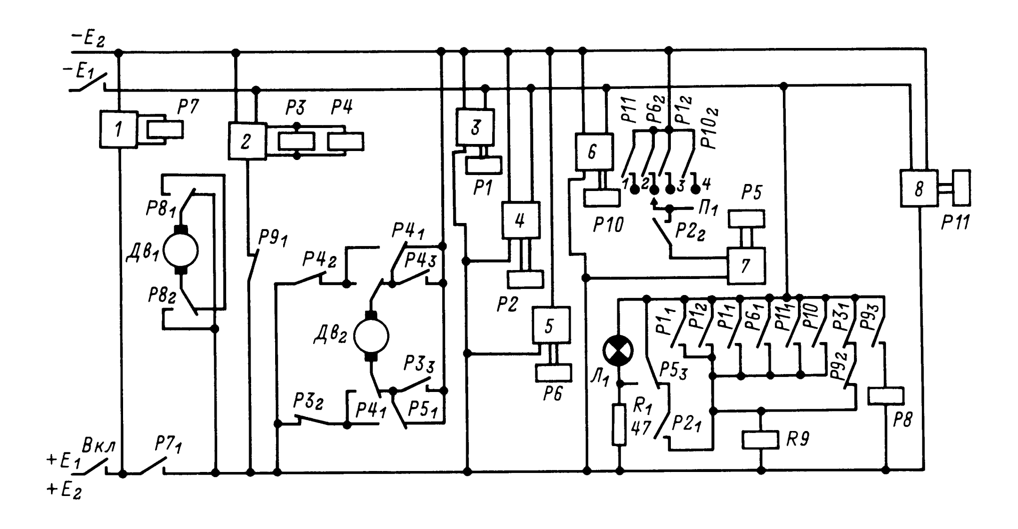


Рис. 5. Функциональная схема робота.

В цепь питания реле *Р9* включены нормально разомкнутые контакты $Р6_1$, замыкающиеся при встрече с водой или с пропастью (блок «Водная преграда»), контакты $Р1_1$, замыкающиеся при встрече с огнем или другими источниками тепла (блок «Тепловое излучение»), контакты $Р14_1$, замыкающиеся при радиоизлучении (блок «Радиоизлучение»), контакты *Р10*, срабатывающие при опасной радиации (блок «Радиационная разведка»), контакты $Р1_2$, замыкающиеся при столкновении с препятствием.

При замыкании любого из контактов «опасности» реле *Р9* срабатывает и становится на самопитание через контакты $Р9_2$ и нормально замкнутый контакт $Р3_1$. Одновременно контакт $Р9_1$ размыкает цепь питания блока «Ориентация на свет», отключая этот узел на время действия сигнала «опасности». При этом замыкается контакт $Р9_3$ в цепи питания реле *Р8*, в результате чего ведущий двигатель $Дв_1$ переключается на задний ход. Кибернетический исследователь отступает назад до тех пор, пока не разомкнется контакт $Р3_1$ в цепи самопитания реле *Р9*. Это происходит под действием кулачка, связанного с двигателем $Дв_1$.

При размыкании контакта $Р3_1$ реле *Р9* отключается, так как к этому времени контакты «опасности» разомкнутся. Вместе с реле *Р9* приходит в нормальное состояние реле *Р8*, и КИН снова начинает двигаться вперед. Теперь направление его движения будет иным, так как двигатель $Дв_2$ до этого управлялся контактами $Р4_1$ и $Р5_1$.

Как же образуется у нашего робота «условный рефлекс»? Реле *Р5* на выходе блока «Выработка условного рефлекса» срабатывает сразу же после включения питания. Вначале звук специального свистка (1380 *гц*) вызывает только срабатывание реле *Р2* в блоке «Слух». При неоднократном совпадении срабатывания реле *Р2* со срабатыванием одного из реле *Р1*, *Р6*, *Р14* или *Р20*, когда «минус» питания несколько раз подряд поступит на вход блока «Выработки условного рефлекса», этот блок отключает реле *Р5*, лампочка $Л_1$ загорается, сигнализируя о том, что условный рефлекс образован; одновременно подготавливается к включению реле *Р9* контактом $Р5_3$. Теперь достаточно одного лишь свистка, чтобы через контакты $Р5_3$ и $Р2_1$ сработало реле *Р9*; робот реагирует на свисток как на сигнал «опасность». Устанавливая переключатель $П_1$ в положения *1*, *2*, *3* или *4*, можно менять безусловный раздражитель, с помощью которого вырабатывается условный рефлекс

«АНАТОМИЯ» РОБОТА

Переходим к описанию отдельных блоков нашего робота.

Блок «Световой фон» (рис. 6). Этот блок является общим автоматическим выключателем. Чувствительным элементом блока является фоторезистор $ФР_3$ (типа ФСД-1). Он включен на вход усилителя, выполненного на транзисторах $Т_3$ и $Т_4$ (типа П26А). Переменным резистором R_5 устанавливается порог чувствительности блока, причем имеется возможность отрегулировать блок таким образом, чтобы он включался при слабом дневном освещении или при свете электрических ламп. Резистор R_8 определяет начальный ток в цепи коллектора транзистора $Т_3$. Реле *Р7* (типа РЭС-15) срабатывает, когда ток транзистора $Т_4$ достигает величины 30 *ма*.

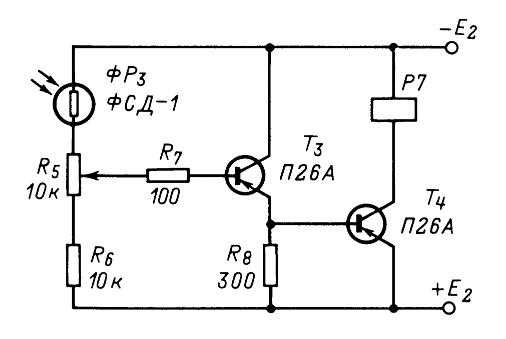


Рис. 6. Принципиальная схема блока «Световой фон».

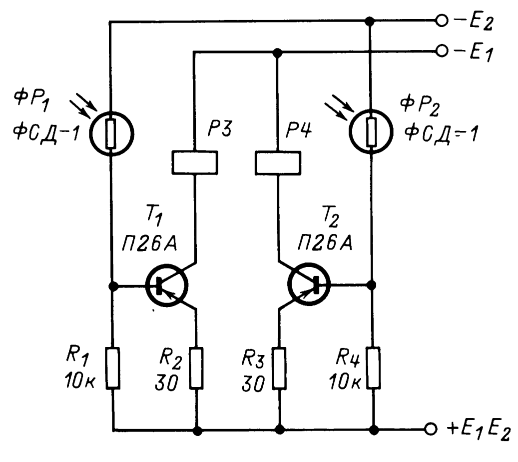


Рис. 7. Принципиальная схема блока «Ориентация на свет».

Блок «Ориентация на свет» (рис. 7) обеспечивает движение КИНа к источнику света. Воспринимающими элементами являются два фоторезистора $ФР_1$ и $ФР_2$ (типа ФСД-1). Когда фоторезисторы не освещены, транзисторы T_1 и T_2 (типа П26А) закрыты, и реле *Р3* и *Р4* (типа РЭС-15) обесточены. При освещении фоторезисторов возрастает фототок, происходит изменение тока в цепях базы транзисторов T_1 и T_2, реле *Р3* и *Р4* срабатывают, отключая рулевой двигатель $Дв_2$. Робот начинает двигаться прямо на источник света. Если луч света будет направлен только на фоторезистор $ФР_1$, то сработает реле *Р3*, переключатся контакты $Р3_1$, $Р3_2$ и $Р3_3$, и двигатель $Дв_2$ начнет поворачивать рулевое колесо в левую сторону. Вторая половина схемы, собранная на фоторезисторе $ФР_2$ и транзисторе T_2, работает аналогично первой, но производит поворот в правую сторону. Резисторы R_1 и R_4 служат для установки начального тока транзисторов; с помощью резисторов R_2 и R_3 регулируется чувствительность схемы.

Блок «Тепловое излучение» (рис. 8) срабатывает при приближении робота к источнику тепла. Чувствительным элементом служит терморезистор R_1, включенный на вход спусковой схемы, собранной на транзисторах T_6 и T_7. При комнатной температуре подбором величины переменного резистора R_{11} устанавливается такой режим транзисторов T_6 и T_7, чтобы транзистор T_7 был закрыт, и реле *Р10* обесточено. При этом транзистор T_6 открыт. Если поднести к терморезистору R_1 электрический рефлектор — обогреватель или горящую спичку, то под действием тепла его сопротивление быстро изменится (уменьшится), и транзистор T_6 закроется, а транзистор T_7 откроется; реле *Р10* срабатывает, замыкая своими контактами цепь реле *Р1*. Сигнал «Опасность» поступает на реле *Р9* (рис. 5). При удалении от источника тепла схема возвращается в исходное положение.

Блок «Слух» (рис. 9). С помощью этого блока КИН может «слышать» звуки. Однако в любом помещении очень много посторонних звуков, которые, попадая в микрофон, могут вызвать ложное срабатывание реле. Поэтому в блоке имеется резонансный контур (фильтр), настроенный на частоту 1380 *гц* (такая частота выбрана потому, что широко распространенные свистки, применяемые во время спортивных состязаний, издают звуки именно с частотой 1380 *гц*). Воспринимающим элементом являются микрофоны типа ДЭМШ, установленные в «голове» робота (два микрофона включены последовательно) с правой и с левой стороны. Через разделительный конденсатор C_2 сигналы низкой частоты поступают на базу транзистора T_8. После усиления

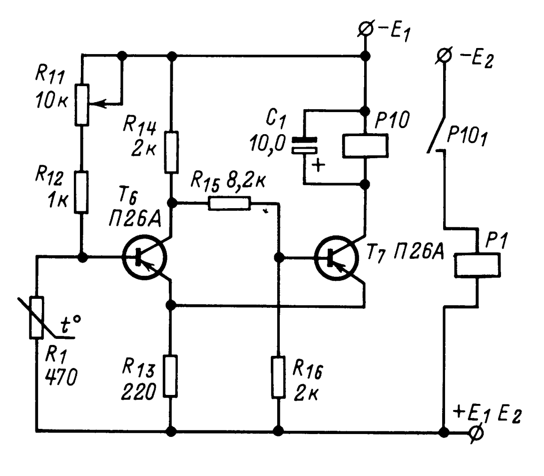


Рис. 8. Принципиальная схема блока «Тепловое излучение».

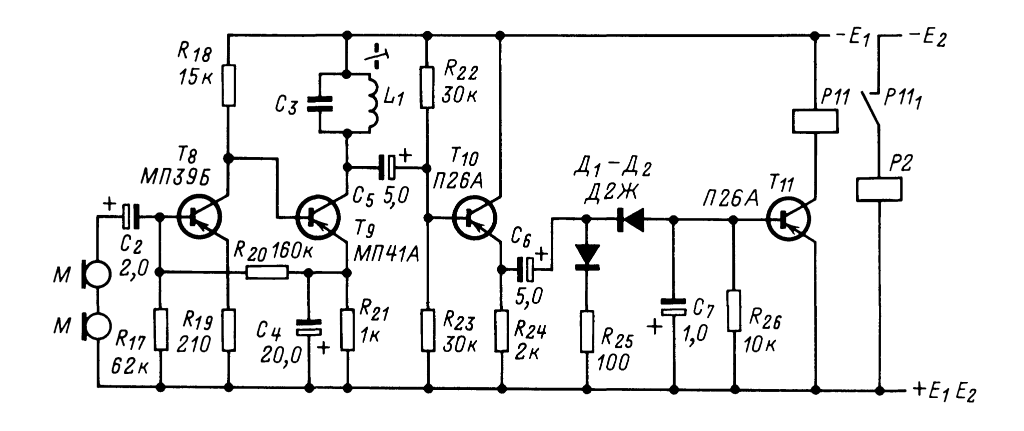


Рис. 9. Принципиальная схема блока «Слух».

этот сигнал поступает на базу транзистора T_9. Оба каскада усиления охвачены отрицательной обратной связью по питанию, что обеспечивает устойчивую работу схемы и температурную стабилизацию режимов транзисторов. В коллекторную цепь транзистора T_9 включен колебательный контур L_1C_3. Если звук с частотой 1380 *гц* попадает в микрофоны, то после усиления сигнал этой частоты выделится на коллекторе транзистора T_9. Через разделительный конденсатор C_5 колебания звуковой частоты подаются на базу транзистора T_{10}, включенного по схеме с общим коллектором. С эмиттера транзистора T_{10} сигнал поступает на выпрямитель, собранный на диодах $Д_1$ и $Д_2$ по схеме удвоения напряжения. Выпрямленное напряжение поступает на базу транзистора T_{11}, который является усилителем постоянного тока и управляет работой реле *Р11*. При появлении сигнала на базе транзистора T_{11} последний открывается, реле *Р11* срабатывает и своими контактами замыкает цепь питания реле *Р2*. Контакт реле $Р2_2$ включает блок «Выработка условного рефлекса».

Катушка индуктивности L_1 намотана на ферритовом кольце диаметром 6 *мм* и имеет 700 витков провода ПЭЛ-0,1. Реле *Р2* типа РЭС-6, реле *Р11* типа РЭС-15.

Блок «Водная преграда» (рис. 10) позволяет КИНу обнаруживать воду на пути его движения. Чувствительным элементом является пара электродов, укрепленных на передней части тележки, на которой установлены электродвигатели $Дв_1$ и $Дв_2$. Тележка закрыта декоративным корпусом, имитирующим «ботинки» робота. Электроды (датчики) изготовлены из фосфористой бронзы, покрыты защитным слоем хрома или никеля. Толщина их составляет 1, длина 35 *мм*. Они крепятся на расстоянии 1—2 *мм* один от другого. Высота крепления от пола составляет 5—6 *мм*. Электроды включены на вход усилителя, собранного на транзисторе T_5 типа П26А. В коллекторную цепь транзистора включено реле *Р6* (типа РЭС-15). Резистор R_9 подбирается при настройке блока и определяет чувствительность схемы. Резистор R_{10} в цепи эмиттера ставит транзистор в режим, необходимый для четкого срабатывания реле. Когда «ноги» робота находятся в сухом месте, электрическая цепь между электродами разомкнута, транзистор T_5 закрыт, так как ток базы практически равен нулю. Реле *Р6* при этом обесточено. Если же «ноги» робота попадают в воду, цепь контактов (датчиков) замыкается и транзистор T_5 открывается. Срабатывает реле *Р6*, контакты $Р6_1$ и $Р6_2$ замыкаются (см. рис. 5), появляется сигнал «Опасность». Замыкание контактов приводит к изменению направления вращения двигателя $Дв_1$, и робот отходит назад от того места, где он обнаружил водную преграду.

Блок «Радиационная разведка» состоит из двух частей: электронной схемы (рис. 11) и исполнительного узла. Его назначение — обнаружить радиационную опасность и оповестить о ней. Чувствительным элементом блока является газоразрядный счетчик типа

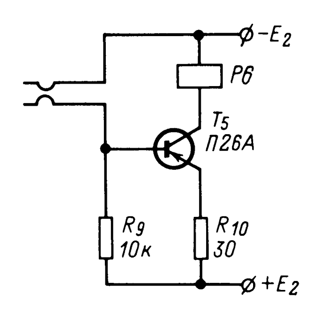


Рис. 10. Принципиальная схема блока «Водная преграда».

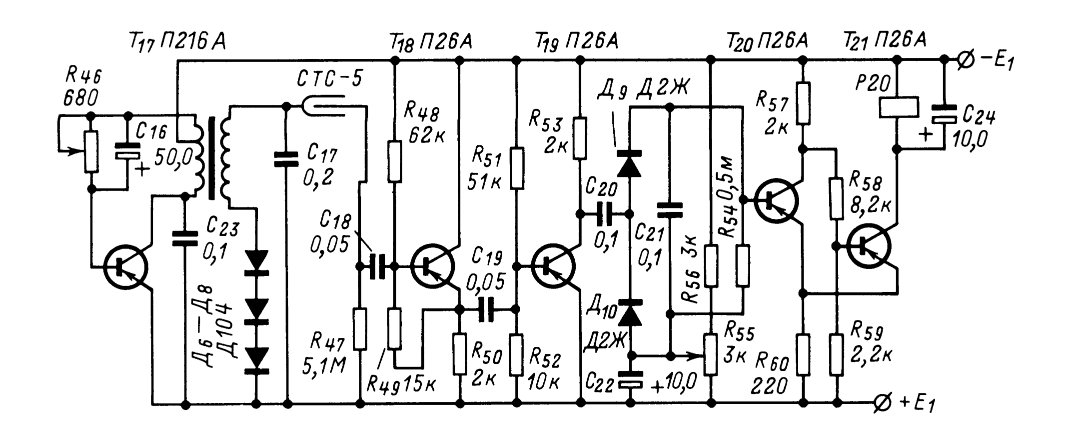


Рис. 11. Принципиальная схема блока «Радиационная разведка».

СТС-5 (или СТС-1). Принцип его действия основан на ионизации газа под действием ядерного излучения. При достаточно высокой напряженности поля в счетчике происходит лавинообразный разряд, в результате которого возникают процессы, усиливающие во много раз ионизационный эффект.

Для питания счетчика высоким напряжением применен блокинг-генератор, собранный на транзисторе T_{17} (типа П216А). Трансформатор блокинг-генератора намотан на сердечнике из трансформаторной стали Ш12, толщина пакета 12 *мм*; первичная обмотка содержит 146 витков провода ПЭЛ 0,22 с отводом от 26-го витка, вторичная обмотка — 3000 витков провода ПЭЛ 0,08. Импульсы, вырабатываемые блокинг-генератором, выпрямляются диодами $Д_6$—$Д_8$ (типа Д104) и заряжают конденсатор C_{17} до напряжения 300—500 *в*.

При появлении радиационного излучения в счетчике возникает разряд. Импульсы напряжения с резистора R_{47} через конденсатор C_{18} поступают на двухкаскадный усилитель, собранный на транзисторах T_{18} и T_{19}. Первый каскад собран по схеме с общим коллектором, что обеспечивает достаточно высокое входное сопротивление усилителя. Второй каскад собран по схеме с общим эмиттером. С коллекторной нагрузки второго каскада положительные импульсы напряжения поступают через конденсатор C_{20} на выпрямитель, собранный по схеме удвоения напряжения на диодах $Д_9$ и $Д_{10}$. Этот выпрямитель заряжает конденсатор C_{21}. Разряд конденсатора происходит через резистор R_{54}. Напряжение, выделяющееся на нем, складывается с опорным напряжением на конденсаторе C_{22}, которое устанавливается потенциометром R_{55} при регулировке блока. Суммарное напряжение приложено к базе транзистора T_{20}, входящего в состав пусковой схемы, собранной на транзисторах T_{20} и T_{21}. Действует спусковая схема следующим образом.

При отсутствии радиации потенциал базы транзистора T_{20} определяется только положением движка потенциометра R_{55}. Он устанавливается таким образом, чтобы транзистор T_{20} был открыт и через него протекал ток 4—5 *ма*. При этом транзистор T_{21} закрыт, и ток через реле P_{20} не течет. При радиации на конденсаторе C_{21} появляется напряжение, величина которого зависит от интенсивности радиационного излучения. Напряжение на конденсаторе C_{21} складывается с опорным напряжением, и потенциал базы транзистора T_{20} изменяется, что ведет к уменьшению тока через транзистор. При некотором значении интенсивности радиации изменение тока транзистора T_{20} приводит к тому, что транзистор T_{21} открывается, а транзистор T_{20} запирается. При этом срабатывает реле *Р20*, включая исполнительный узел. Исполнительный узел блока обеспечивает включение красной лампочки на шлеме робота (лампа $Л_3$, рис. 12), подъем и опускание правой руки робота (с помощью двигателя $Д_3$) и включение сирены *СР*. В качестве ее можно применить сирену, используемую в телефонных аппаратах с акустическим вызовом. Она должна быть рассчитана на 24 *в*. В исполнительном узле применяется реле *Р12* типа РЭС-6. Ограничение подъема и опускания правой руки осуществляется концевыми выключателями $КВ_1$ и $КВ_2$: опускание руки происходит после прекращения действия сигнала о наличии радиации.

Блок «Радиоизлучение» состоит из трех узлов: радиоприемника (рис. 13), исполнительного устройства (рис. 14) и звуковоспроизводящего устройства (рис. 15).

Радиосигналы поступают на вход радиоприемника (антенну) и усиливаются двухкаскадным широкополосным усилителем, собранным на транзисторах T_{12} и T_{13}.

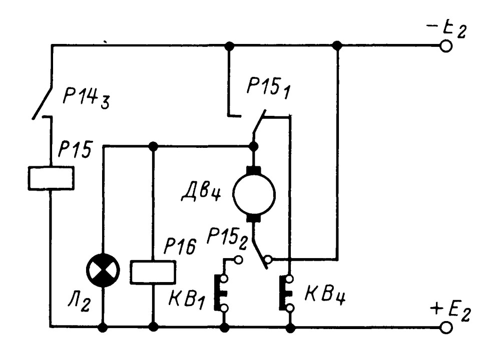


Рис. 12. Принципиальная схема исполнительного узла блока «Радиационная разведка».

Нижняя граница полосы усиливаемых частот определяется емкостью конденсаторов C_8 и C_{10}, а верхняя граница — соотношением между паразитной емкостью монтажа и емкостями конденсаторов C_9 и C_{11}. Усиленный высокочастотный сигнал поступает далее на детектор, собранный по схеме удвоения напряжения, на диодах $Д_3$ и $Д_4$. Выпрямленное напряжение через фильтр $R_{38}C_{14}$ подается на базу транзистора T_{14} и вызывает срабатывание реле *Р13* (типа РЭС-15). Контакт $Р13_1$ замыкает цепь питания реле *Р14*.

Контакт $Р14_3$ включает реле *Р15* в исполнительном устройстве блока. При этом контакты $Р15_1$ и $Р15_2$ включают двигатель $Дв_4$, управляющий подъемом руки, а также лампочку $Л_2$, подсвечивающую табло «Внимание. Электромагнитное излучение». Одновременно включается реле *Р16*, и через его контакты $Р16_1$ поступает напряжение на звуковоспроизводящее устройство, в котором срабатывает реле *Р17* (реле *Р18* находится под током, поэтому его контакты $Р18_1$ замкнуты). Своими контактами реле *Р17* ставится на самопитание и включается двигатель $Дв_5$ лентопротяжного механизма. При этом воспроизводится запись на магнитной ленте, склеенной в кольцо. Возле места склейки, соответствующего началу записи, на ленту наклеивается полоска алюминиевой фольги, которая при неработающем двигателе замыкает цепь реле *Р19* (контакт $К_6$). Контакты реле $Р19_1$ шунтируют конденсатор C_{15} через резистор R_{41}. Этот конденсатор управляет работой спусковой схемы, собранной на транзисторах T_{15} и T_{16}.

В исходном состоянии (пока не подан сигнал) транзистор T_{15} закрыт, транзистор T_{16} открыт. Поэтому якорь реле *Р18* притянут (реле сработало). При включении двигателя $Дв_5$ лента начинает движение, фольга размыкает контакт $К_6$, и реле *Р19* отключается. Контакт $Р19_1$ подключает конденсатор C_{15} к резистору R_{40}. Конденсатор C_{15} заряжается до напряжения источника питания.

После того как закончится воспроизведение записи на ленте и фольга снова замкнет контакт $К_6$, реле *Р19* опять сработает Конденсатор C_{15}, заряженный до напряжения источника, подключится к резистору R_{41}. При разряде конденсатора через этот резистор на нём возникает импульс напряжения, который поступает на базу транзистора T_{15}. Транзистор T_{15} кратковременно отпирается, а транзистор T_{16} закрывается. Реле *Р18* контактами $Р18_1$ размыкает цепь питания реле *Р17*.

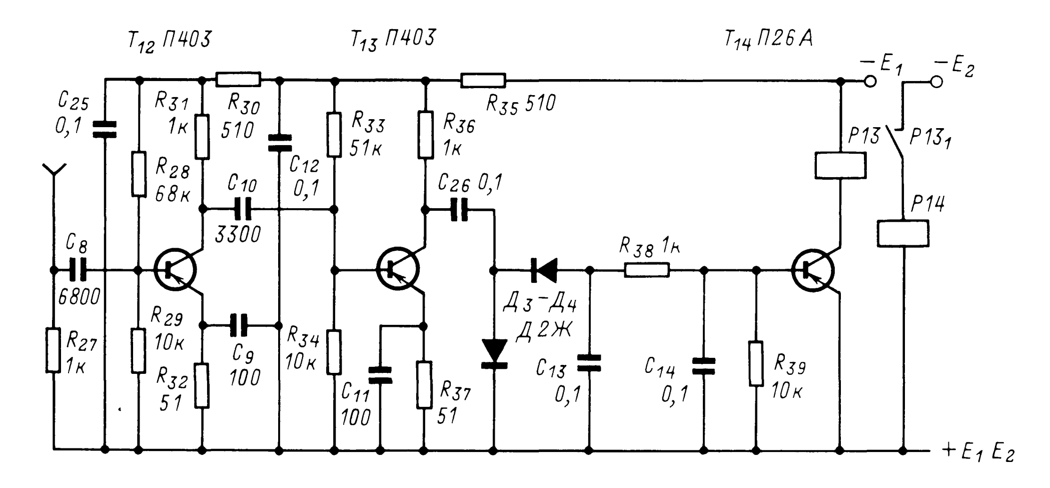


Рис. 13. Принципиальная схема радиоприемника блока «Радиоизлучение».

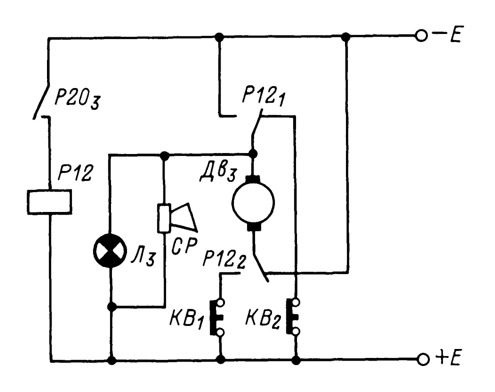


Рис. 14. Принципиальная схема исполнительного устройства блока «Радиоизлучение».

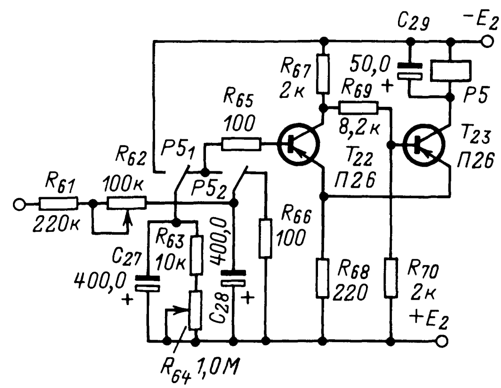


Рис. 16. Принципиальная схема блока «Выработка условного рефлекса».

Если за время воспроизведения магнитной записи высокочастотное излучение прекратилось, реле *Р17* останется в разомкнутом состоянии. Если же высокочастотное излучение не прекратилось, реле *Р17* снова сработает, так как контакты *Р16* будут замкнуты. Далее весь цикл воспроизведения магнитной записи будет повторяться до тех пор, пока не прекратится действие источника высокочастотного излучения. В блоке используются реле *Р17* типа РЭС-6, реле *Р18* типа РЭС-15.

Лентопротяжное устройство должно обеспечить движение магнитной ленты со скоростью 19 или 9,5 *см/сек*, чтобы запись на ленте можно было сделать с помощью обычного магнитофона. Для воспроизведения можно использовать головку от магнитофона «Комета», усилитель воспроизведения от любого стандартного переносного магнитофона. Поэтому схема усилителя воспроизведения здесь не приводится.

Блок «Выработка условного рефлекса» (рис. 16) собран на транзисторах T_{22} и T_{23} (спусковое устройство). При отсутствии сигналов транзистор T_{22} закрыт, а транзистор T_{23} открыт, поэтому реле *Р5* в коллекторной цепи последнего находится под током, его контакты $P5_1$ и $P5_2$ — в левых положениях. Когда сигналы от двух раздражителей совпадают во времени, то, как отмечалось ранее, на вход блока поступает отрицательное напряжение; конденсатор C_{28} постепенно заряжается. Если между отдельными совпадениями проходит много времени, то конденсатор C_{27} успевает разрядиться по цепи утечки R_{61} и R_{62}. Но если совпадения сигналов происходят достаточно часто, конденсатор C_{28} в конце концов зарядится до напряжения, при котором спусковое устройство

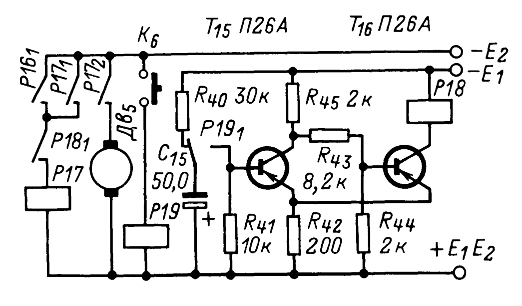


Рис. 15. Принципиальная схема устройства воспроизведения магнитной записи блока «Радиоизлучение».

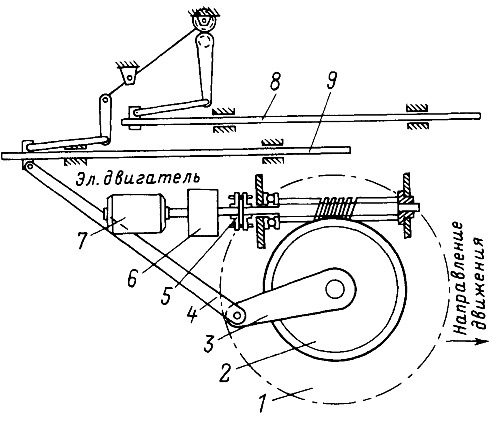


Рис. 17. Кинематическая схема привода «ног» робота.

1 — обрезиненное колесо; *2* — червячная шестерня, *3* — кривошип; *4* — шатун; *5* — муфта; *6* — редуктор; *7* — электродвигатель; *8* — имитатор ходьбы левой ноги; *9* — имитатор левой ноги.

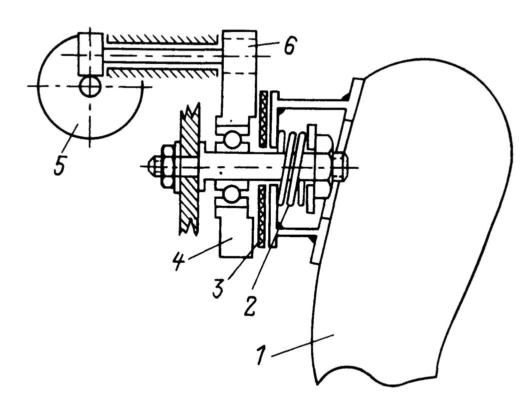


Рис. 18. Узел привода «рук» робота.

1 — рука робота; *2* — пружина; *3* — фибровая шайба; *4* — большая шестерня; *5* — электродвигатель; *6* — малая шестерня.

сработает. Вследствие этого реле *Р5* обесточится, и к базе транзистора T_{22} через контакт $P5_1$ присоединится заряженный до напряжения 20 *в* конденсатор C_{27}. В этом состоянии схема удерживается до тех пор, пока конденсатор C_{27} не разрядится через резисторы R_{63} и R_{64}.

Продолжительность «обучения» (время заряда конденсатора C_{28}) и продолжительность действия образованного условного рефлекса (время разряда конденсатора C_{27}) можно регулировать с помощью R_{62} и R_{64}.

Конструктивное выполнение. Монтаж каждого блока выполняется на печатной плате из фольгированного текстолита размерами 150×100 *мм*. Функциональная схема монтируется на печатной плате размерами 250×120 *мм*. Электродвигатели $Дв_1$ и $Дв_2$ типа МУ-100. Возможно и применение других типов двигателей. На оси двигателя $Дв_1$ устанавливается редуктор с соотношением чисел оборотов 1 : 70. Двигатель $Дв_2$ работает через редуктор с передаточным числом 1 : 100. Кинематическая схема привода «ног» робота дана на рис. 17. Механизм подъема рук показан на рис. 18. Двигатели $Дв_3$ и $Дв_4$ имеют редукторы с передаточным числом 1 : 125. Для работы в лентопротяжном механизме звуковоспроизводящего устройства используется двигатель типа 4ДКС-8. Для питания всех узлов и блоков ро́бота применяются аккумуляторы СЦД, дающие напряжение 24 *в* (16 банок). Питание электронных схем осуществляется от части аккумуляторной батареи, дающей напряжение 12 *в*.

РОБОТ-ЧАСЫ

Трудно сказать, можно ли действительно назвать наш прибор ро́ботом. Мы ведь не очень еще хорошо представляем, какими, собственно, будут эти друзья и помощники человека. Бесспорно одно, наш автомат уже сейчас способен безошибочно выполнять полученное задание (во-время разбудить своего хозяина, приготовить завтрак, ответить по телефону, записать на магнитофон концерт, помочь проявить и отпечатать фотографии, перечислить дела на текущий день). Все это далеко не полный перечень «специальностей» прибора, который мы называем автоматическими часами с наборным полем.

Работа схемы. В составлении программ участвуют несколько датчиков времени: секундный, минутный, пятиминутный, часовой, суточный (рис. 19). Затем сигнал поступает на исполнительное реле. В каждом из трех каналов автомата два реле ($Р_п$ и $Р_с$); одно из них ($Р_п$) осуществляет включение (пуск), другое ($Р_с$) — выключение какого-либо прибора.

Для изготовления программных часов потребуется два шаговых искателя типа ШИ-25/2 с сопротивлением обмотки 25 *ом*, реле типа РКН, РКМП или РС-13 с двумя контактными группами по пять контактных пружин в каждой группе — 3 шт., реле типа РСМ-2 или РСМ-3 — 3 шт., реле типа РСМ-1 — 2 шт., транзистор П4А или П4Б — 1 шт., две электрические кнопки, контактных гнезд необходимо 150 шт., диод Д226 — 1 шт.

Как же составляется программа? Предположим, что она рассчитана на несколько секунд или минут. Тумблером *Вк* включаются электродвигатель *ДСД* (рис. 20) и датчики секундных и минутных импульсов. При этом постоянное напряжение 24 *в* подается на обмотку реле $Р_{вк}$, и его контакты замыкают цепь питания электродвигателя, частота вращения которого 60 *об/мин*. Кулачки $К_1$ и $К_2$ 60 раз в минуту замыкают и размыкают электрическую цепь, и с зажимов «секунды» снимается один импульс в секунду. В устройстве применен редуктор с коэффициентом замедления 1/60. Следовательно, кулачки $К_3$ и $К_4$ замыкают электрическую цепь один раз в минуту. Импульсы, снимаемые с зажимов «секунды» и «минуты», подаются на обмотку шагового искателя $ШИ_2$ (зажимы *а*, *б*), к подвижным контактам которого *в*, *г* подводится напряжение 24 *в*, а зажимы, соответствующие нужному моменту времени (*1—25*), соединяются гибкими проводниками с зажимами «пуск» или «стоп» выбранного канала.

В качестве датчика пятиминутных и часовых импульсов использован механизм от часов. Стрелка, перемещаясь по циферблату, поочередно замыкает пятиминутные контакты, подавая на них напряжение 24 *в*.

Шаговый искатель $ШИ_1$ работает от датчика пятиминутных импульсов *ДПИ*. Нажав кнопку $Кн_1$ устанавливаем подвижные контакты $ШИ_1$ в начальное положение 0 *ч*. При этом стрелка датчика должна находиться в положении 0. Когда она замкнет контакт $К_{час}$, на базу

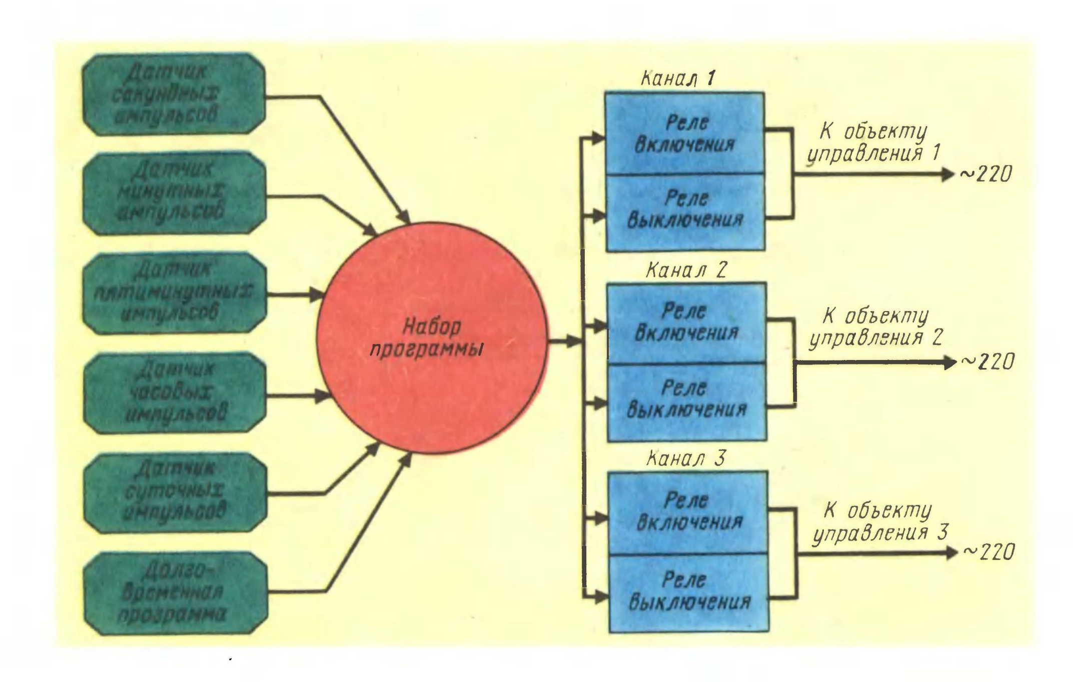


Рис. 19. Блок-схема прибора.

транзистора T_1 попадет импульс отрицательного напряжения и откроет его. Через обмотку шагового искателя потечет ток, его подвижные контакты перейдут на следующую пару зажимов и будут подавать на них напряжение в течение часа. Одновременно сработает реле часовых импульсов $P_{час}$. На зажимах «часы» появится напряжение. В следующий момент стрелка датчика займет новое положение. Обмотка реле $P_{час}$ обесточится, его контакты разомкнутся и снимут напряжение с зажимов. Но через час оно появится снова, и т. д. Когда $ШИ_1$ сделает 24 шага, что соответствует суткам, его подвижные контакты подадут напряжение на зажимы «сутки». Через нормально замкнутый контакт $К_{ШИ_1}$ на базу транзистора T_1 попадет отрицательный потенциал, через обмотку $ШИ_1$ потечет ток, и подвижные контакты сразу же перейдут в следующее положение — на зажимы «0».

Допустим, что нам нужно в 18 *ч* 40 *мин* включить второй канал, а в 19 *ч* 00 *мин* выключить. Сделаем следующее: на передней стенке прибора гнездо *18* $ШИ_1$ и гнездо *40 ДПИ* соединяем с гнездами «Пуск» II канала, а гнезда *19* $ШИ_1$ и «0» *ДПИ* с гнездами «Стоп» II канала.

В течение часа на гнезде *18* $ШИ_1$ будет положительный потенциал, который подается на начало обмотки реле $РП_2$. Реле не сработает до тех пор, пока стрелка *ДПИ* не замкнет контакт, соответствующий 40 *мин*. В этот момент на гнездо *40*, а следовательно, и на конец обмотки реле $РП_2$ подается отрицательный потенциал. За счет самопитания реле $РП_1$ будет под напряжением до 19 *ч* 00 *мин*. В это время сработает реле $P_{с2}$, его контакты разорвут цепь питания реле $РП_2$ — канал выключен.

Мы уже говорили о том, что шаговый искатель $ШИ_2$ отрабатывает секундные и минутные импульсы. Но его возможности этим не ограничиваются. Используя $ШИ_2$ в комбинации с $ШИ_1$ и всеми датчиками времени, можно составлять гораздо более длительную программу работы автомата (до 25 суток).

Обмотка шагового искателя $ШИ_2$ питается от одного из датчиков — секундных, минутных, пятиминутных, часовых или суточных импульсов. Шаговый искатель ($ШИ_2$) имеет 25 контактов на каждой плате и может включить или выключить нужный канал в интервале времени от 0 до 25 секунд, минут, часов или суток. Применив шаговый искатель типа ШИ-50/2, можно значительно увеличить этот интервал (до 50 суток).

Допустим, что нам нужно включить первый канал через 15 суток 10 часов 25 минут, а выключить через 18 суток 16 часов 45 минут. Сначала кнопкой $Кн_2$ устанавливаем подвижные контакты $ШИ_2$ в исходное положение. Затем соединяем зажимы обмотки $ШИ_2$ (*а* и *б*) с зажимами *24* датчика суточных импульсов ($ШИ_1$). Нижний (по

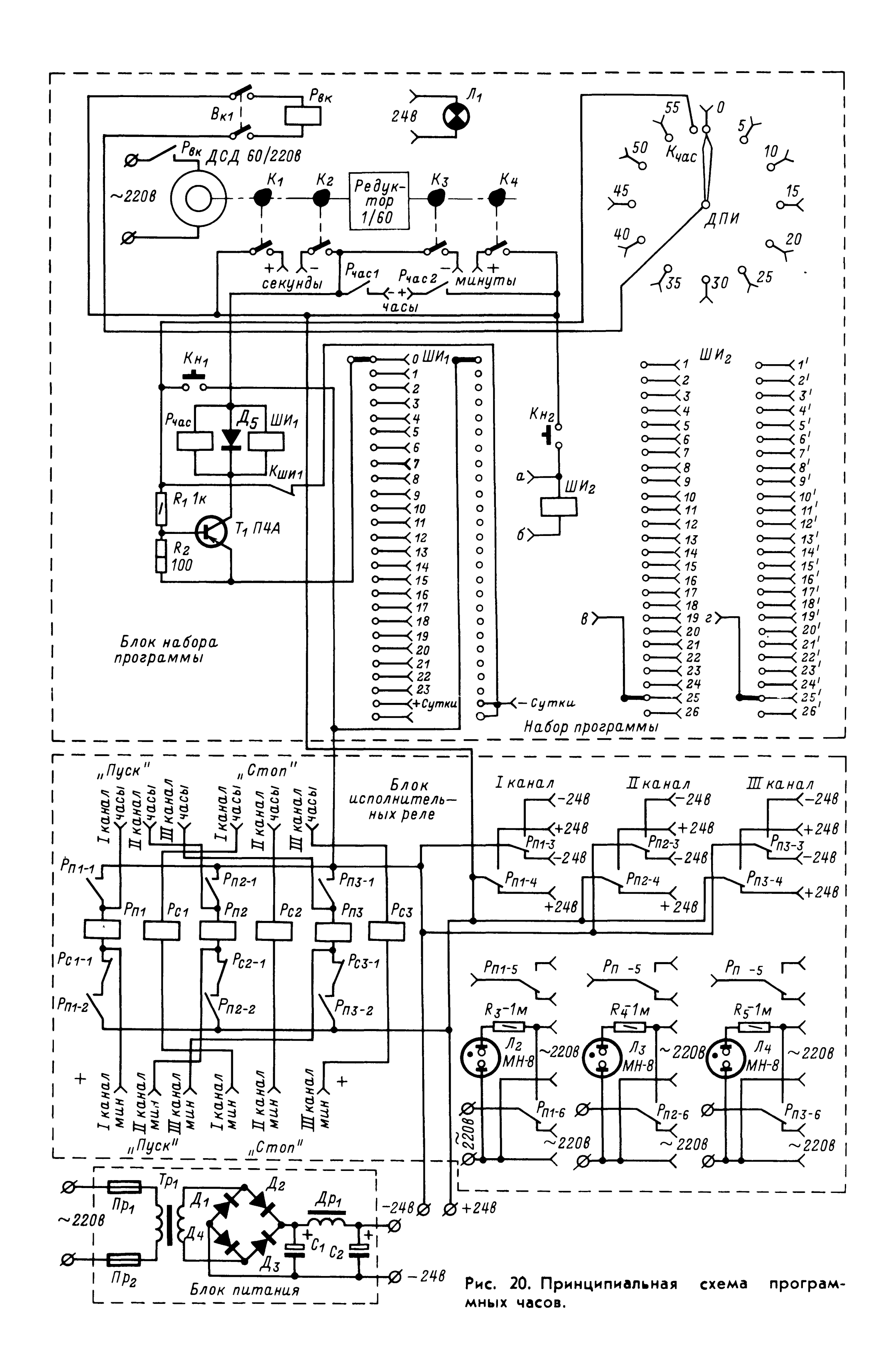


Рис. 20. Принципиальная схема программных часов.

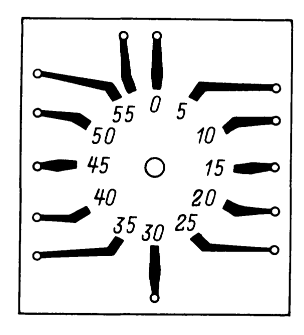


Рис. 21. Датчик пятиминутных импульсов программных часов.

схеме) зажим «Пуск» первого канала соединяем с подвижным контактом *а* шагового искателя $ШИ_2$, на зажим *15* которого подаем сигнал с зажима *10* шагового искателя $ШИ_1$. Верхний зажим «Пуск» должен быть соединен с зажимом *25* датчика пятиминутных импульсов.

Для отключения схемы нижний зажим «Стоп» первого канала соединяем с контактом *г* искателя $ШИ_2$, а зажим 18_1 с зажимом *16* $ШИ_1$. Второй зажим «Стоп» подключаем к гнезду *45 ДПИ*.

Детали, конструкция и монтаж. Шасси прибора лучше всего изготовить на алюминиевых уголках 20×20 *мм*. К нему крепятся шаговые искатели и *ДПИ*.

Контактная плата для пятиминутного датчика с часовым механизмом делается так: нанесите рисунок (рис. 21) тушью на фольгированный гетинакс, а затем закрашенные участки покройте тонким слоем клея БФ-2; после просушки вытравите фольгу в растворе хлорного железа. Протерев плату ацетоном, в местах подпайки проводников просверлите отверстия диаметром 2 *мм*. Готовую деталь закрепите винтами на часовом механизме так, чтобы ось минутной стрелки проходила через центральное отверстие. Оставьте от минутной стрелки небольшой кусочек (1 *мм*) около оси и припаяйте туда контактную пластинку от реле — скользящий контакт готов. Он должен перемещаться по окружности, проходящей через ламели печатной платы, причем его давление не должно создавать перегрузок часового механизма. Напряжение к скользящему контакту подводится через корпус часового механизма.

Для изготовления наборного поля приготовьте две гетинаксовые пластины размером 200×400 *мм*, лист ватмана и пластинку из оргстекла такого же размера толщиной 4 *мм*.

Сначала на миллиметровой бумаге размером 200×400 *мм* разметьте расположение контактных гнезд. Затем гетинаксовые пластины, оргстекло и ватман с размеченной миллиметровой бумагой соедините вместе и скрепите по краям шестью винтами М3. Крепко прижав стекло к гетинаксовым пластинам, просверлите отверстия диаметром 4 *мм* (если будет зазор между оргстеклом и гетинаксом, отверстия получатся со сколо-

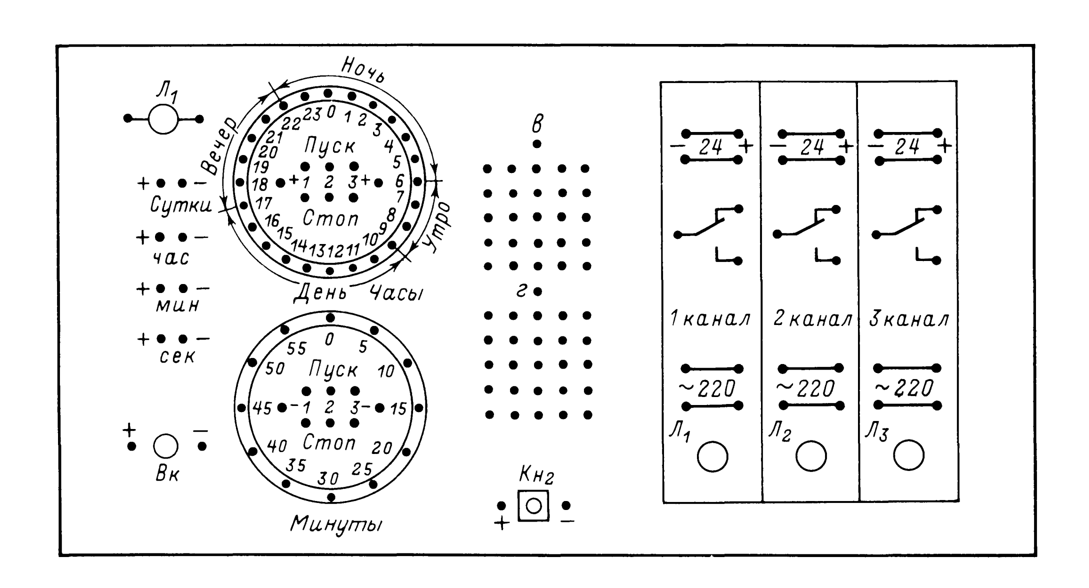


Рис. 22. Разметка шкалы программных часов.

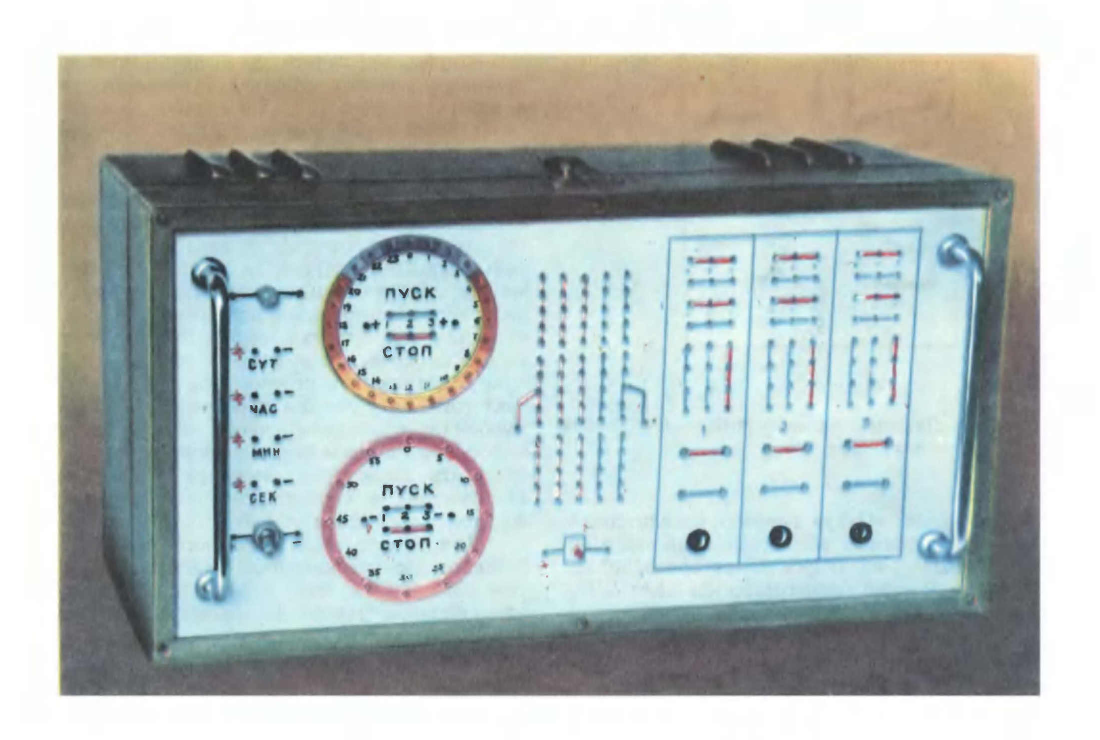


Рис. 23. Общий вид прибора «Программные часы».

тыми краями). Затем просверлите еще раз по готовым отверстиям.

Цветными красками и тушью разметьте ватман так, как показано на рис. 22. Теперь закрепите контактные гнезда. Их можно купить готовые или выточить из латуни на токарном станке, пропилив лобзиком паз вдоль оси. Наборное поле закрепляется на откидной крышке кожуха, в котором расположены детали и узлы автомата. Электрический монтаж схемы выполняют многожильным гибким проводом марки МГШВ 0,35. Предварительно на листе ватмана чертят расположение деталей в масштабе 1 : 1 и цветными карандашами проводят линии проводов. Когда чертеж готов, приступают к распайке деталей.

Закончив монтаж, вставьте шасси в кожух, а наборное поле закрепите в крышке кожуха. После установки прибора свяжите все провода в жгут и уложите так, чтобы они позволяли свободно открывать крышку (рис. 23).

Налаживание прибора. Если все реле и искатели в порядке, правильно собранный прибор начинает работать сразу. После окончания монтажа проверьте отдельные узлы. Начнем с шагового искателя $ШИ_1$. После каждого нажима кнопки $Кн_1$ щетки искателя должны сделать один шаг, а с контакта *23* они должны совершить два быстрых «шага», т. е. установить искатель на 0. Такое срабатывание свидетельствует о том, что схема возврата искателя собрана правильно.

Теперь, подавая кратковременно напряжение разной полярности на гнезда «Пуск», проверяют правильность включения реле $Р_п$ — каждое из них должно включиться и заблокироваться (т. е. ставится на самопитание). Затем напряжение разной полярности подается на гнезда «Стоп» всех трех каналов, реле $Р_п$ должно разблокироваться Датчики времени проверяются контрольной лампочкой $Л_1$.

Узел долговременной программы настраивается кнопкой $Кн_2$. Для этого гнездо «—» кнопки нужно предварительно соединить с минусом источника тока. После проверки всех узлов скользящий контакт *ДПИ* установите по показанию минутной стрелки точно идущих часов, а щетки шагового искателя $ШИ_1$ (кнопкой $Кн_1$) по показанию часовой стрелки. Прибор готов к работе.

Усовершенствование прибора. Конструкторы могут внести свои изменения в устройство программных часов. Попытайтесь увеличить число каналов. Тогда можно будет включить не три исполнительных устройства, а больше. Если прибор монтирует ся в школьном кружке, используйте механизм от электрических часов, которые имеются в школе. Несколько реле с защелкой

или дистанционным переключателем марки ДП-10 упрощают схему исполнительного узла, так как отпадает необходимость в блок-контактах $P_{\text{П}1-1}$, $P_{\text{П}2-1}$, $P_{\text{П}3-1}$. Если параллельно выходным зажимам выпрямителя будет включен аккумулятор, это исключит ошибку хода часов при случайных отключениях сети.

ГЛАВА ВТОРАЯ

РУКОТВОРНЫЙ МОЗГ

МАШИНЫ-МАТЕМАТИКИ

«Наш век — это век атома», — говорят теперь многие. Иные утверждают, что нынешний век — это век Космоса. Мы присоединяемся к тем, кто называет наше время эрой электронных вычислительных машин.

Электронные быстродействующие вычислительные машины... Большие залы, заполненные шкафами и стойками с электронной аппаратурой, пультами управления с сотнями кнопок, циферблатов и мигающих сигнальных лампочек... Да, именно они стали символом молодой, быстро развивающейся науки об управлении, и именно с успехами в использовании быстродействующих цифровых электронных машин связаны в значительной мере успехи кибернетики. Машины быстро и легко справляются со сложнейшими математическими задачами, для решения которых человеку потребовалось бы десятки и сотни лет, они управляют станками, автоматическими линиями и целыми заводами, переводят тексты с одного языка на другой, предсказывают погоду, следят за движением судов и самолетов, рассчитывают траектории космических кораблей, играют в шахматы и даже угадывают олимпийских чемпионов. Машины информируют, советуют, предостерегают, учат...

Создание электронных быстродействующих вычислительных машин открыло исследователям новые, неисчерпаемые возможности, о которых ранее и не подозревали ученые и инженеры. Можно привести тысячи примеров того, как своим вторжением в ту или иную область науки и производства эти машины производили там настоящую революцию.

Четверть века занимаются ученые и инженеры конструированием и совершенствованием цифровых быстродействующих вычислительных машин. Казалось бы, не так уж и много. Но какой большой путь позади! От первых громоздких многотонных гигантов, собранных на многих тысячах электромагнитных реле и электронных ламп и производивших всего несколько математических операций в секунду, до современных малогабаритных и изящных устройств на микромодулях и «твердых схемах», с производительностью, измеряемой миллионами операций в секунду.

Тем не менее принцип работы быстродействующих цифровых вычислительных машин за это время в общем почти не изменился. Как и двадцать пят лет назад действие этих машин сводится к последовательному выполнению элементарных логических операций, на которые разлагается решение любой, даже очень сложной задачи. Как и прежде в большинстве машин используются двоичные счетные элементы и двоичная система счисления.

ДВОИЧНАЯ АРИФМЕТИКА

В нашей повседневной жизни мы привыкли вести счет, пользуясь десятичной системой счисления. В этой системе все числа записываются с помощью десяти цифр: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0.

При этом каждый высший разряд числа больше низшего разряда (находящегося справа от него) в 10 раз. Многоразрядные числа составляются как сочетания различных степеней числа 10. Так, например, число 1969 представляется так:

$$1969 = 1 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^2 + 6 \cdot 10^1 + 9 \cdot 10^0.$$

Кроме десятичной существуют и другие позиционные системы счисления. В них основанием является не 10, а какое-либо другое число, например 12 (двенадцатиричная система), 8 (восьмеричная система), 3 (троичная система), 2 (двоичная система).

В цифровой вычислительной машине для изображения каждого разряда числа в некоторой системе счисления нужно иметь элементы, обладающие таким же количеством состояний, сколько существует различных цифр в этой системе. Если изображать числа в обычной десятичной системе, то требуются элементы, которые обладают десятью устойчивыми состояниями. Именно так обстоит дело в тех простейших цифровых машинах, которые известны уже давно. В русских счетах, например, на каждой проволоке имеется десять косточек, а шестерни арифмометра

могут фиксироваться в одном из десяти возможных положений.

Для электромеханических, релейных и электронных элементов, которые применяются в электронных быстродействующих машинах, характерно наличие двух различных устойчивых состояний. Например, реле может быть замкнуто или разомкнуто, электронная лампа может проводить или не проводить ток, конденсатор может быть заряжен или не заряжен, магнитный сердечник может быть намагничен или размагничен. Если пользоваться для изображения чисел в машине такими элементами, то придется обратиться к системе счисления, в которой имеются только две цифры, т. е. к двоичной системе счисления.

В двоичной системе счисления каждый высший разряд любого числа больше соседнего с ним низшего разряда не в 10 раз (как в десятичной системе), а только в 2 раза, поэтому для записи чисел можно использовать всего две цифры: 1 и 0. Таким образом, здесь многоразрядные числа составляются как суммы различных степеней двойки. Вот как это выглядит:

Числа десятичной системы	Числа двоичной системы	Числа десятичной системы	Числа двоичной системы
0	0	13	1 101
1	1	14	1 110
2	10	15	1 111
3	11	16	10 000
4	100	17	10 001
5	101	18	10 010
6	110	19	10 011
7	111	20	10 110
8	1000	21	10 101
9	1001	22	10 110
10	1010	23	10 111
11	1011	24	11 000
12	1100	25	11 001

Например, число 1010 в двоичной системе: $1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 10$ в десятичной системе.

Число 1969 в двоичной системе счисления выглядит так:

11110110001.

На первый взгляд, двоичная система счисления может показаться настолько неудобной, что ее вряд ли можно где-либо применить. Но это только потому, что для многих она непривычна. На самом же деле, хотя числа в этой системе и выглядят очень громоздкими и однообразными, арифметические действия над ними очень упрощаются. Это заметил еще математик Готфрид Вильгельм Лейбниц, впервые исследовавший двоичную систему счисления подробно (некоторые математики интересовались этой системой и до Лейбница, изобретение же ее историки приписывают китайскому императору Фо Ги, жившему 3400 лет до нашей эры). Лейбниц писал в 1703 г: «При сведении чисел к простейшим началам, каковы 0 и 1, всюду выявляется удивительный порядок...» Особенно восхищали Лейбница своей простотой правила двоичного сложения и умножения.

Таблица сложения, например, состоит здесь всего из четырех строчек:

$$0+0=0 \qquad 1+0=1$$
$$0+1=1 \qquad 1+1=10$$

(результат последнего действия означает перенос единицы в высший разряд). Вот пример сложения «столбиком» чисел 9 (1001) и 10 (1010) на основании этой таблицы сложения:

```
+ 1 001
  1 010
 ------
 10 011
```

Не сложнее выглядит и умножение в двоичной системе.

Таблица двоичного умножения состоит также из четырех строчек:

$$0\times0=0 \qquad 1\times0=0$$
$$0\times1=0 \qquad 1\times1=1$$

Умножение двух чисел сводится к выполнению повторного сложения:

```
×    1 001
     1 010
  --------
     0 000
    1 001
   0 000
  1 001
  --------
  1 011 010
```

Для того чтобы перевести число из десятичной системы в двоичную, удобно пользоваться следующим приемом: нужно записать число в десятичной системе и последовательно делить его на 2 с округлением до целого числа в сторону уменьшения, записывая в столбик все результаты деления; затем возле каждого нечетного результата деления поставить 1, а возле четного — 0. Полученное число (в двоичной системе), состоящее из единиц и нулей, следует записать в строчку слева направо, начиная с нижней цифры правого столбца.

Например, переведем в двоичную систему из десятичной число 46:

```
46  0
23  1
11  1
 5  1
 2  0
 1  1
```

В результате получаем число 101 110.

Для обратного преобразования числа 101 110 в десятичную систему счисления нужно единицу или нуль каждого разряда этого числа умножить на соответствующую степень числа 2 и полученные результаты сложить:

$$1\cdot2^5+0\cdot2^4+1\cdot2^3+1\cdot2^2+1\cdot2^1+0\cdot2^0=46.$$

ШИФРАТОРЫ И ДЕШИФРАТОРЫ

Для преобразования числовых данных, вводимых в машину, из десятичной системы в двоичную, а также для обратного перевода результатов вычислений, выполненных машиной, применяются специальные устройства — шифраторы и дешифраторы. Как и другие узлы цифровых вычислительных машин, они собраны на двоичных элементах и представляют собой электрические релейно-контактные схемы или схемы с электронными лампами, полупроводниковыми диодами, транзисторами и т. п.

Мы здесь опишем простые модели шифратора и дешифратора, собранные на полупроводниковых диодах и неоновых лампах. Принципиальная схема такого шифратора приведена на рис. 24, а схема дешифратора — на рис. 25.

В схеме десятично-двоичного шифратора перевод числа из десятичной системы счисления в двоичную происходит следующим образом. При замыкании одного из ключей $К_1$—$К_{10}$, изображающих числа от 1 до 10, напряжение поступает только на те из неоновых лампочек $Л_1$—$Л_4$, которые соответствуют единицам в двоичном изображении данного десятичного числа; эти лампочки загораются (незагоревшиеся лампочки означают нули). Это достигается благодаря использованию в схеме полупроводниковых диодов, которые выполняют роль развязывающих элементов. Например, при замыкании ключа $К_1$ загорается только лампочка $Л_1$, что означает: «числу 1 соответствует число 0001». При замыкании ключа $К_2$ ток пойдет только через лампочку $Л_2$: «числу 2 соответствует число 0010». При замыкании ключа $К_3$ напряжение через диоды $Д_1$ и $Д_2$ поступает на лампочки $Л_1$ и $Л_2$: «числу 3 соответствует 0011». Аналогично действует модель при включении других ключей.

В схеме двоично-десятичного дешифратора верхние по схеме положения ключей $К_1$—$К_4$ соответствуют нулям двоичных разрядов числа, а нижние положения — единицам. Если все ключи находятся в верхних положениях, то лампочки $Л_1$—$Л_{10}$, изображающие числа 1—10 десятичной системы, зашунтированы диодами и подводимое напряжение падает на резисторах. Например, лампочка $Л_1$ зашунтирована диодом $Д_1$, лампочка $Л_2$ — диодом $Д_6$ и т. д. При пере-

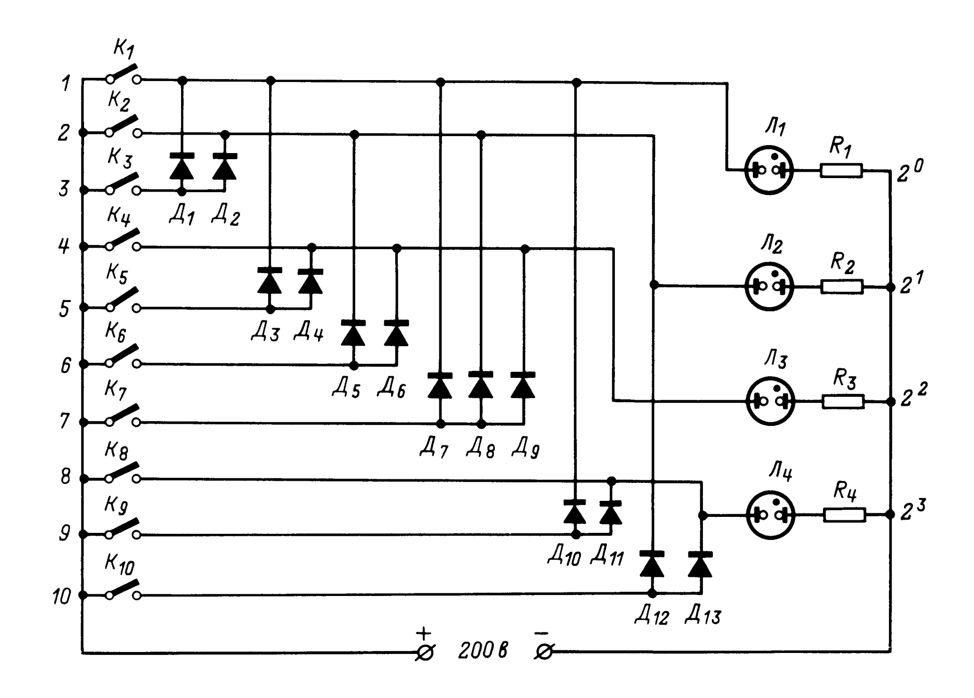


Рис. 24. Принципиальная схема шифратора.

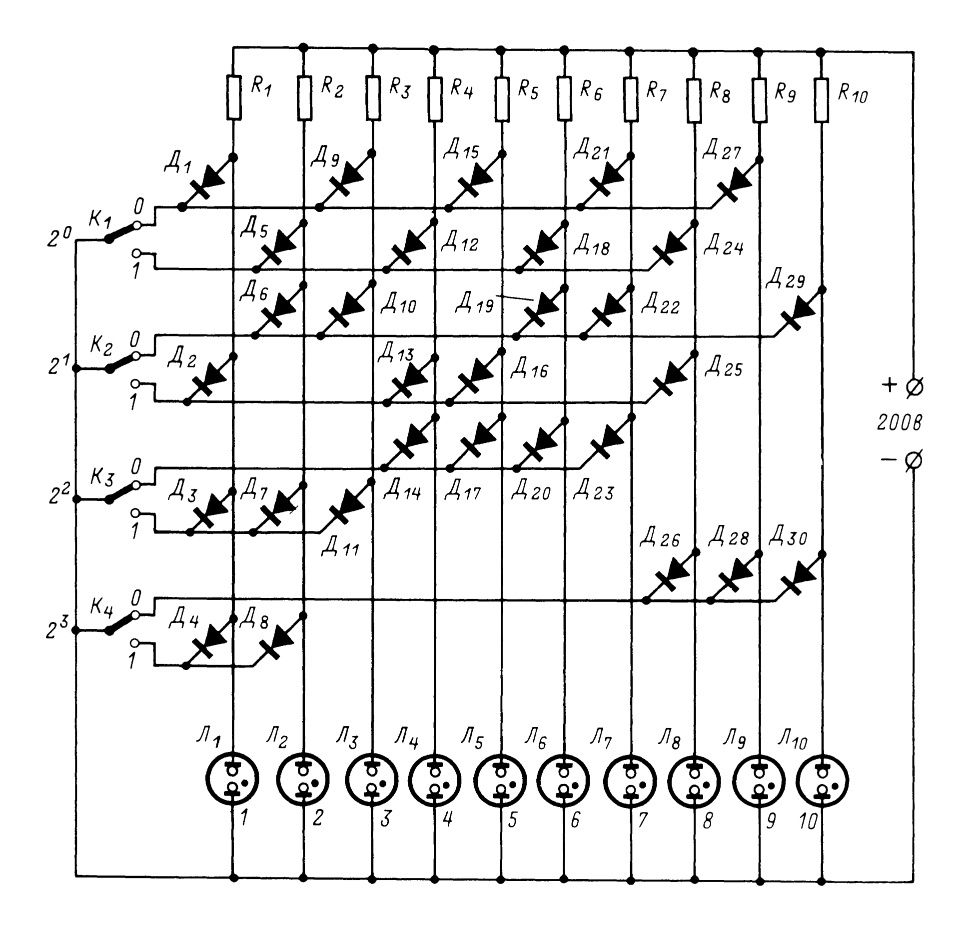


Рис. 25. Принципиальная схема дешифратора.

воде какого-либо из ключей в нижнее положение, т. е. вводе единицы соответствующего двоичного разряда, шунтирующая лампочку цепь размыкается, и лампочка загорается, подсвечивая нужное число десятичной системы. Например, при переводе в нижнее положение ключа $К_1$ загорается лампочка $Л_1$, что означает «числу 0001 соответствует число 1».

При переводе в нижнее положение ключа $К_2$ загорается лампочка $Л_2$: «числу 0010 соответствует 2». При переводе в нижнее положение ключей $К_1$ и $К_2$ загорается лампочка $Л_3$: «числу 0011 соответствует 3». Аналогично действует модель в других случаях.

В этих схемах могут быть применены диоды типа Д7Г и лампочки типа МН-3 или МН-5. Последовательно с каждой из лампочек нужно включить балластный резистор на 80—100 *ком.*

Источником питания моделей служит выпрямитель, питающийся от сети переменного тока. Модели могут быть размещены в футлярах, но возможно изготовление этих моделей и в виде развернутой схемы.

«ИЛИ», «И», «НЕ» — ТРИ КИТА МАШИННОЙ ЛОГИКИ

Ранее мы упоминали о том, что действие электронной цифровой вычислительной машины заключается в последовательном выполнении ею большого количества элементарных логических операций, на которые расчленяется процесс решения сложной задачи. Операции эти выполняются логическими схемами машины, собранными из так называемых логических элементов.

Каждый логический элемент можно представить себе в виде некоторого устройства, имеющего несколько «входов» и один «выход». При выполнении этим устройством логической операции сигнал, получающийся на «выходе» его, определяется характером сигналов, поступивших на «входы». Условно логические элементы изображаются обычно в виде прямоугольников, а «входы» и «выходы» в виде стрелок, как это показано на рис. 26.

Каковы основные логические элементы и какие логические операции с их помощью можно выполнять?

Простейший из логических элементов — элемент НЕ, у которого имеется только один вход и один выход. Этот элемент выполняет операцию логического отрицания, или инверсию: сигнал на выходе появляется только тогда, когда на входе сигнала нет. В символической логике обычно сигналы «высказывания» обозначаются буквами латинского алфавита; отрицание обозначается чертой над буквой. Например, если на вход элемента НЕ поступает сигнал A, то на выходе в результате логической операции отрицания получается сигнал $\bar{A}$, (читается «не A», или «A с чертой»). На рис. 27, *а* показано схематическое изображение элемента НЕ. Рядом (рис. 27, *б*) приведена таблица состояний, которые может принимать двоичный сигнал на выходе в зависимости от двоичных сигналов, поступающих на вход. На рис. 27, *в* показано, каким образом можно реализовать элемент НЕ с помощью обыкновенного электромагнитного нейтрального реле: если замкнуть ключ *К*, подавая сигнал 1 (ток проходит) на вход элемента, то реле сработает и разомкнет нормально замкнутый контакт, на выходе получается сигнал 0 (ток не проходит).

На рис. 28, *а* показан логический элемент И, выполняющий операцию логического умножения, или конъюнкцию. У этого элемента два входа; сигнал на выходе появляется тогда и только тогда, когда сигналы одновременно поступают на первый и на второй входы. Конъюнкция обозначается в символической логике знаком $\wedge$. Например, если на входы элемента И поступают сигналы A и B, то на выходе в результате логической операции конъюнкции получается сигнал $A \wedge B$. На рис. 28, *б* и *в* показаны таблица состояний для элемента И и реализация этого элемента с помощью электромагнитного реле; это реле срабатывает только в том случае, если замкнуты оба ключа K_1 и K_2; при этом нормально разомкнутый контакт реле замыкается.

1-й вход
2-й вход
Выход

Рис. 26. Схематическое изображение логического элемента.

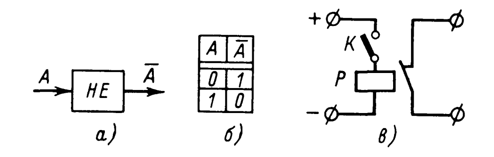


Рис. 27. Логический элемент НЕ.

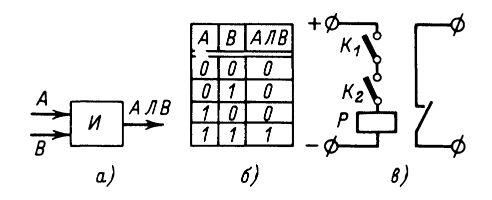


Рис. 28. Логический элемент И.

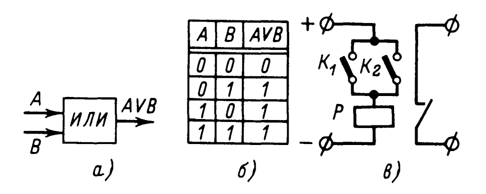


Рис. 29. Логический элемент ИЛИ.

Элемент ИЛИ выполняет операцию логического сложения, или дизъюнкцию. Сигнал на выходе появляется тогда, когда сигнал поступает хотя бы на один из входов — или на первый, или на второй. Рисунок 29 иллюстрирует эту операцию: реле срабатывает, замыкая нормально открытый (разомкнутый) контакт, если хотя бы один из ключей K_1 или K_2 замкнут. Дизъюнкция обозначается значком $\vee$.

Логические элементы И, ИЛИ и НЕ являются теми элементарными ячейками, из которых, как из кирпичиков, собираются логические схемы цифровых вычислительных машин. Покажем, например, каким образом из этих элементов собирается логическая схема одноразрядного двоичного сумматора — автоматического устройства, выполняющего в машине операцию сложения одноразрядных чисел в двоичной системе счисления (из таких одноразрядных сумматоров состоит значительная часть арифметического блока цифровой вычислительной машины).

Одноразрядный двоичный сумматор должен выполнять следующие арифметические операции:

$$0+0=00$$
$$0+1=01$$
$$1+0=01$$
$$1+1=10.$$

Чтобы получить устройство, выполняющее эти операции, нужно соединить четыре логических элемента (два элемента И, один элемент ИЛИ и один элемент НЕ), как показано на рис. 30.

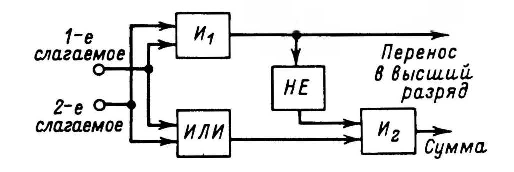


Рис. 30. Логическая схема одноразрядного двоичного сумматора.

Рассматривая схему, изображенную на этом рисунке, можно убедиться, что она обеспечивает выполнение приведенной ранее таблицы сложения. Если оба слагаемых равны нулю (нет сигналов на входах), то логические элементы взаимодействуют таким образом, что на выходе сумматора получается нуль (отсутствуют сигналы); если одно из слагаемых равно единице (сигнал поступает на один из входов), то в результате взаимодействия логических элементов на выходе сумматора получается число 01 (сумма в данном разряде равна единице, переноса в высший разряд нет); при равенстве единиц обоих слагаемых, подаваемых на входы сумматора, на его выходе получается число 10 (сумма в данном разряде равна нулю, но в высший разряд переносится единица). Таким образом, все операции, выполняемые одноразрядным двоичным сумматором, можно свести в следующую таблицу.

Операции	Слагаемые данного разряда		Сумма	Переносится в высший разряд
	первое	второе		
1	0	0	0	0
2	1	0	1	0
3	0	1	1	0
4	1	1	0	1

МОДЕЛЬ ОДНОРАЗРЯДНОГО РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНОГО ДВОИЧНОГО СУММАТОРА

Модель (рис. 31) можно собрать на электромагнитных реле, используя лампочки накаливания в качестве индикации двоичных сигналов на входе и на выходе. Принципиальная схема модели дана на рис. 32. Здесь P_1 и P_4 использованы в качестве логических элементов $И_1$ и $И_2$, реле P_3 является элементом ИЛИ, а реле P_2 выполняет функцию элемента НЕ. Ключи K_1 и K_2 служат для подачи сигналов на входы (ключ K_1 вводит единицу на вход первого слагаемого, ключ K_2 — на вход второго слагаемого). Лампочки $Л_1$ и $Л_2$ являются индикаторами введения слагаемых, $Л_3$ — индикатор суммы, $Л_4$ — индикатор переноса в высший разряд.

На рис. 31 вы видите исходное состояние сумматора, соответствующее операции *1* в приведенной ранее таблице: все реле отключены, лампочки не горят:

$$0+0=00.$$

При введении единицы первого слагаемого замыканием ключа K_1 (операция *2*) включается лампочка $Л_1$, указывающая, что единица первого слагаемого введена, срабатывает реле P_3, контакты *3* которого замыкают цепь питания реле P_4. Далее реле P_4 срабатывает, и его контакты *4* включают лампочку суммы $Л_3$:

$$1+0=01.$$

Если ввести только единицу второго слагаемого замыканием ключа K_2 (операция *3*), то оказывается включенной лампочка $Л_2$, и аналогично срабатывают сначала реле P_3, затем реле P_4, контакты последнего также включают лампочку суммы $Л_3$:

$$0+1=01.$$

Наконец, если в сумматор вводятся единицы первого и второго слагаемых (включаются ключи K_1 и K_2), то загораются лампочки $Л_1$ и $Л_2$ — индикаторы ввода слагаемых, срабатывают реле P_1 и P_3. Далее контакты *1* реле P_1 замыкаются, подавая напряжение на обмотку реле P_2 и на лампочку $Л_4$. Эта лампочка загорается, а реле P_2 срабатывает, и его нормально замкнутые контакты *2* размыкают цепь обмотки реле P_4. Поэтому реле P_4 не срабатывает, его контакты *4*

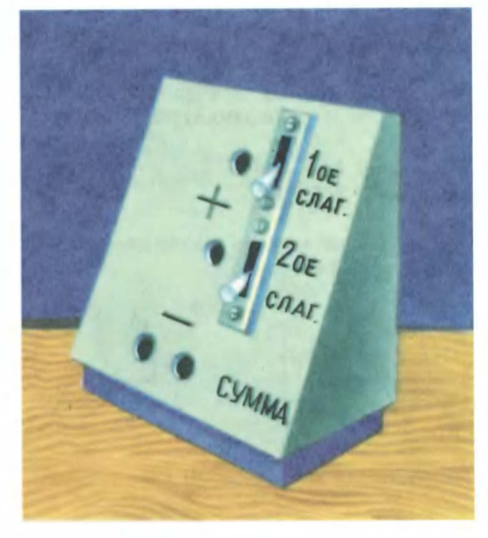


Рис. 31. Внешний вид корпуса одноразрядного релейно-контактного сумматора.

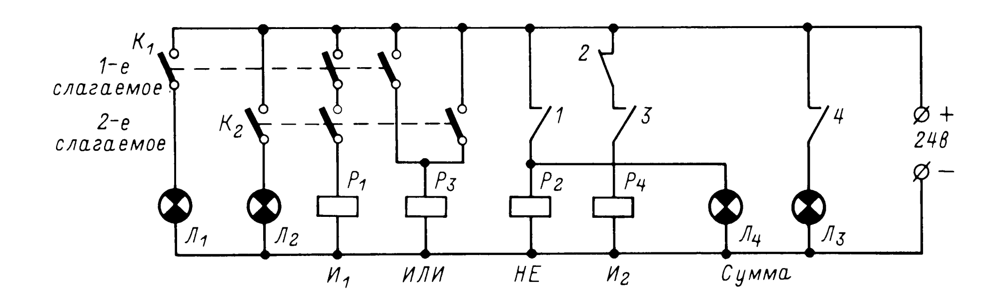


Рис. 32. Принципиальная схема модели одноразрядного релейно-контактного сумматора.

остаются разомкнутыми и лампочка $Л_3$ не горит:

$$1+1=10.$$

Детали и конструкция. Так как для питания реле и сигнальных лампочек используется один и тот же источник тока, они должны быть рассчитаны на одно и то же рабочее напряжение. В качестве сигнальных ламп в схеме можно применить малогабаритные лампочки на 24 *в* и реле типа РС-13, РКН или РСМ. Можно использовать и другие типы реле. Применены ключи телефонные типа КТРО. Питать схему можно от сети переменного тока через понижающий трансформатор и выпрямитель, обеспечивающий напряжение 24 *в* (величина потребляемого тока определится типами примененных в схеме ламп и реле).

Все элементы и узлы модели монтируются в небольшом ящике, передняя наклонная стенка которого является одновременно и лицевой панелью. Правильно собранная и смонтированная модель практически не нуждается в налаживании (рис. 31).

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ АВТОМАТ ДЛЯ ОТГАДЫВАНИЯ ЧИСЕЛ (возраста) «ЗОДИАК»

Очень интересную и простую математическую машину демонстрировали юные кибернетики города Березовского Свердловской области на XXVI Всесоюзной выставке радиолюбителей-конструкторов.

Машина, названная юными конструкторами романтическим именем «Зодиак», привлекла много посетителей.

Машина «Зодиак» отгадывала задуманные человеком числа. Достаточно было произвести в уме несколько простых математических действий и ввести результат вычислений в машину (нажать несколько кнопок), и машина отгадывала задуманные числа (например, возраст), высвечивая его на своей панели двумя большими красными цифрами.

Мы думаем, что многих наших читателей заинтересует эта математическая машина, которая может быть использована на вечерах занимательной кибернетики в школах, Домах пионеров, везде, где есть необходимость продемонстрировать возможности и принцип действия простых кибернетических машин.

На рис. 33 приведена принципиальная схема автомата для отгадывания двузначных чисел.

Разберем принцип действия автомата. Для того чтобы машина отгадала задуманное двузначное число, надо с этим числом проделать некоторые математические действия: умножить его на 10, затем задумать любое однозначное число и умножить его на 9, затем из первого произведения вычесть второе. Полученную разность надо ввести в машину, нажимая соответствующие кнопки на лицевой панели автомата, включить тумблер «Ответ» и тогда автомат сообщит задуманное двузначное число. Индикация ответа производится с помощью двух индикаторных ламп ИН-4.

Как же автомат отгадывает задуманное число, ведь мы сообщаем ему не само задуманное число, а какое-то определенное для этого числа значение, полученное после вышеприведенных математических вычислений с этим числом.

Автомат состоит из двух частей: логического устройства *А* и индикаторного устройства *Б*. Логическое устройство выполнено на реле P_0—P_{20}, кнопках $Кн_1$—$Кн_{30}$, диодах $Д_1$—$Д_{29}$. Питание этой части схемы производится постоянным напряжением 24 *в*.

Индикаторное устройство *Б* содержит индикаторные лампы $Л_1$, $Л_2$ типа ИН-4; выпрямитель (для питания анодов ламп $Л_1$, $Л_2$) сетевого напряжения, выполненного на диоде $Д_{30}$; кнопки $Кн_{31}$.

Работу автомата лучше всего проследить на конкретном примере.

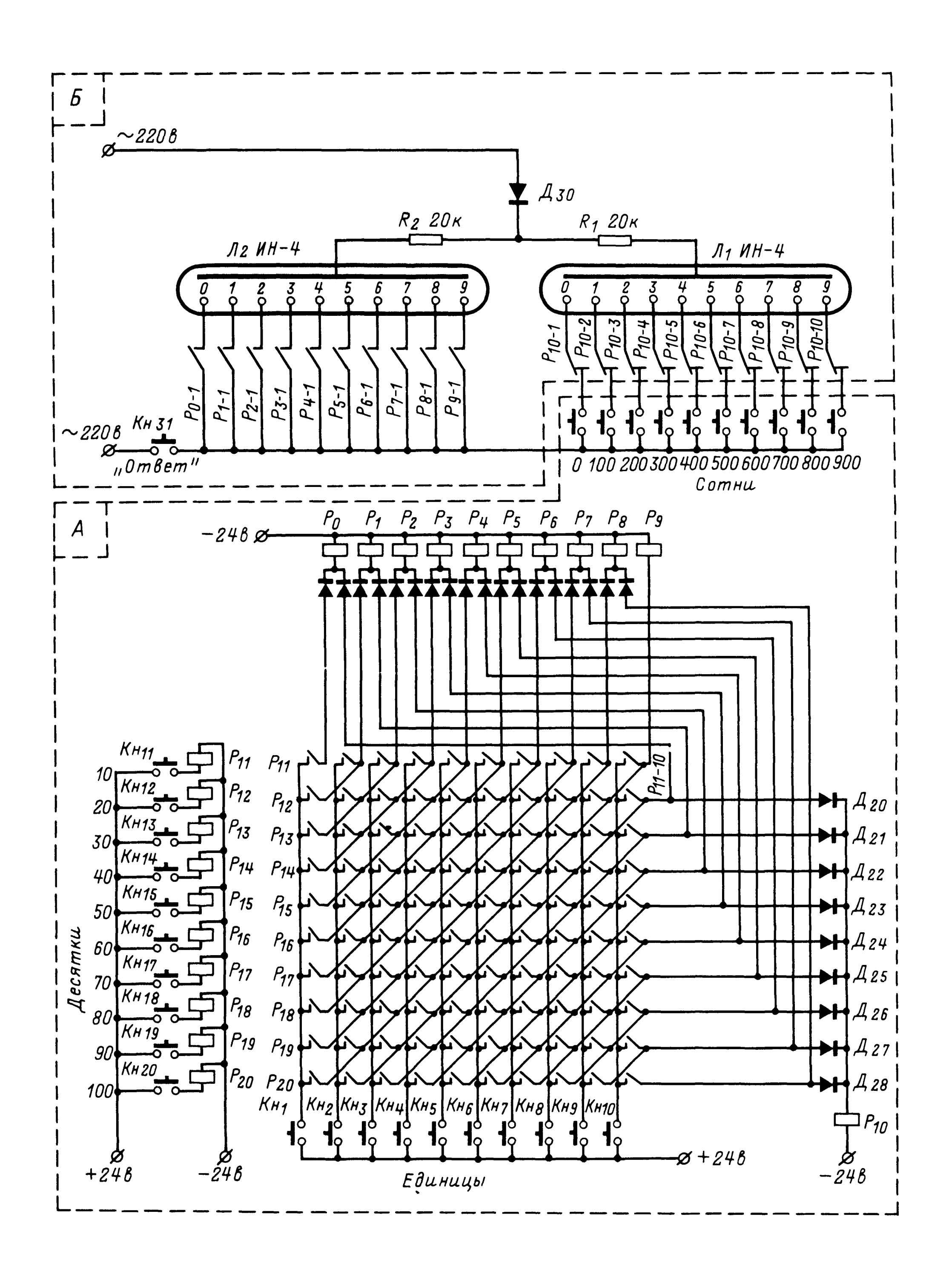


Рис. 33. Принципиальная схема автомата для отгадывания задуманных чисел.

Например, человек задумал число 25, умножил его на 10 (25×10=250), задумал число 4 и умножил его на 9 (4×9=36) и из первого произведения вычел второе (250—36=214). Получили разность 214. Теперь эту разность надо сообщить на автомат, нажимая соответствующие кнопки. Кнопки группы $Кн_1$—$Кн_{10}$ — единицы, кнопки группы $Кн_{11}$—$Кн_{20}$— десятки и кнопки группы $Кн_{21}$—$Кн_{30}$ — сотни.

На схеме видно, что каждая кнопка соответствует какому-то числовому значению, например кнопка $Кн_1$ соответствует числу 0, кнопка $Кн_2$ — соответствует числу 1 и т. д., и кнопка $Кн_{30}$ соответствует числу 900.

Чтобы ввести число 214 в автомат, надо замкнуть (нажатием) кнопку $Кн_5$, которой соответствует числовое значение 4, кнопку $Кн_{12}$, которой соответствует значение 10, и кнопку $Кн_{23}$, которой соответствует значение 200.

Сначала нажмем кнопку $Кн_5$ (число 4), тогда шина, на которую замкнули эту кнопку, окажется под напряжением +24 *в*. Замкнем кнопку $Кн_{12}$ (число 10). Замыкая эту кнопку, мы подали напряжение на обмотку реле $Р_{12}$, реле срабатывает, и при этом замыкаются контакты его контактной группы, которая содержит 10 контактов на замыкание. Один из этих контактов замкнулся на шину, которая находится под напряжением, так что через этот контакт и через диод $Д_{12}$ напряжение поступает на обмотку реле $Р_5$. Реле срабатывает и при этом замыкается его контакт $Р_{5-1}$. Через этот замкнутый контакт напряжение 200 *в* поступает на пятый вывод лампы $Л_2$ и на лампе высвечивается цифра «5».

Диоды $Д_1$—$Д_{19}$ применены как ограничители, чтобы напряжение, поступающее на реле $Р_0$—$Р_9$, не поступало на реле $Р_{10}$. Нажав кнопку $Кн_{23}$ (числа 200), мы тем самым подаем напряжение 200 *в* на второй вывод лампы $Л_1$ и на лампе высвечивается цифра «2». Итак, мы получили задуманное число 25.

Автомат отгадал задуманное нами число 25, но в описании ничего не упомянуто о реле $Р_{10}$ с десятью контактами на переключение.

Рассмотрим его назначение в схеме. Возьмем уже знакомое нам число 25. Только теперь при вычислениях мы задумаем однозначное число не 4, а 6; вычислив (25×10—6×9=196), мы получим число 196, которое сообщим на автомат. Замкнув кнопки $Кн_7$ и $Кн_{20}$, мы подали напряжение на обмотку реле $Р_5$. Реле сработало и на лампе $Л_2$ высветилась цифра «5». Допустим, что реле $Р_{10}$ у нас нет, тогда, замкнув кнопку $Кн_{22}$ (100), мы бы подали напряжение на вторую кнопку лампы $Л_1$ и на лампе высветилась бы цифра «1» и вместо задуманного числа 25 мы бы получили число 15. Но с включением в схему реле $Р_{10}$ все изменяется. Когда мы замыкаем кнопки $Кн_7$ и $Кн_{20}$, мы подаем напряжение не только на реле $Р_5$, но и на обмотку реле $Р_{10}$ (диоды $Д_{20}$—$Д_{28}$ включены так, что через них напряжение может поступать только на реле $Р_{10}$).

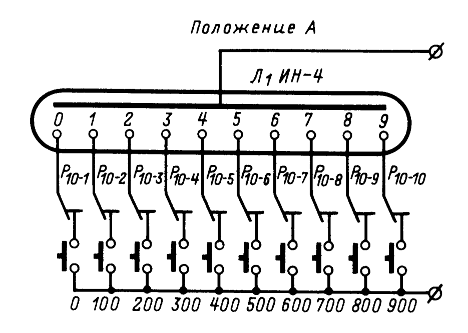


Рис. 34. Схема переключения контактных групп реле $Р_{10}$.

Реле $Р_{10}$ срабатывает, при этом его контакты переключаются (рис. 34, положение контактных групп А: рис. 35, положение контактных групп Б) так, что первый электрод лампы $Л_1$ замыкается на контакт кнопки $Кн_{21}$ (число 0), второй электрод лампы замыкается на контакт кнопки $Кн_{22}$ (100) и т. д., так что при замыкании кнопки $Кн_{22}$ (число 100) на лампе $Л_1$ высвечивается цифра 2, и таким образом мы получили задуманное число 25.

Детали и конструкции. Автомат собран в корпусе, показанном на рис. 36. Корпус изготовляется из листового алюминия. При изготовлении корпуса вначале изготовляются боковые стенки и на них по периметру приклепываются алюминиевые угольники 15×15 *мм*.

Затем на эти угольники крепится лицевая панель. Дно и задняя стенка съемные. На лицевой панели (рис. 36) крепятся две лампы тлеющего разряда ИН-4 ($Л_1$ и $Л_2$), тумблеры «ВКЛ», «ОТВЕТ» и кнопки $Кн_1$—$Кн_{30}$. Кнопки крепятся в три ряда по разрядам. Верхний ряд — кнопки $Кн_{21}$ — $Кн_{30}$ —

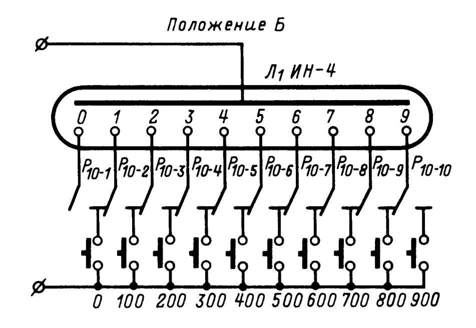


Рис. 35. Схема переключения контактных групп реле $Р_{10}$.

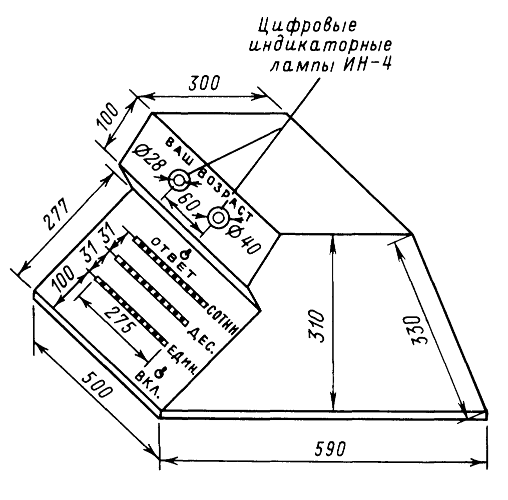


Рис. 36. Внешний вид автомата «Зодиак».

сотни, средний ряд — кнопки $Кн_{11}$—$Кн_{20}$ — десятки, нижний ряд — кнопки $Кн_1$—$Кн_{10}$ — единицы. Остальные детали схемы — реле, диоды и выпрямители — находятся внутри корпуса и укреплены на раме, которая выполнена из стальных угольников 25×25 *мм*. Чертеж рамы приведен на рис. 37. В случае отсутствия таких угольников можно использовать угольники из алюминия 30×30 *мм*.

Реле крепятся на металлических планках размером 270×15 *мм*, а эти планки крепятся к раме. Диоды смонтированы на гетинаксовой панели размером 100×160 *мм*, выпрямитель собран на гетинаксовой панели размером 100×160 *мм*. Эти панели также

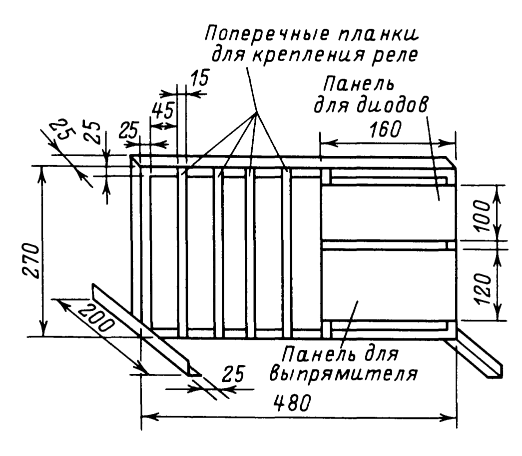


Рис. 37. Рама для крепления реле.

укреплены на раме. Сама рама крепится на дне корпуса четырьмя болтами М4.

В схеме использованы 32 реле типа РС259007Сп10 с сопротивлением обмотки 800 *ом*, 29 диодов Д7Ж и две цифровые индикаторные лампы тлеющего разряда типа ИН-4 и 30 кнопок на замыкание с арретиром.

Данные о реле сведены в таблицу.

Реле	Количество контактных групп на замыкание	Количество контактных групп на переключение
P_0—P_9	По 1 контактной группе	—
P_{11}—P_{19}	По 10 контактных групп	—
P_{10}	—	10 контактных групп

Выпрямитель для питания логического устройства (часть схемы А), дающий напряжение 24 *в*, выполнен на обычной двухполупериодной схеме на четырех диодах Д305.

Внешний вид модели показан на рис. 36.

КАК УСТРОЕНА ЭЦВМ!

Мы познакомились с устройством одноразрядного двоичного сумматора и его работой. В электронной цифровой вычислительной машине (ЭЦВМ) из таких одноразрядных сумматоров путем их соединения составлены многоразрядные сумматоры. Они являются основными элементами арифметического устройства цифровой вычислительной машины. Сумматоры выполняют операцию автоматического сложения многоразрядных двоичных чисел. Другие арифметические операции (вычитание, умножение и деление) также могут быть сведены к сложению. Поэтому арифметическое устройство ЭЦВМ может выполнять все четыре основных действия арифметики.

В арифметических устройствах современных вычислительных машин сумматоры обычно собраны не на электромагнитных реле, как в нашей модели, а на электронных элементах, лампах, полупроводниковых диодах, транзисторах и т. п. Это обеспечивает огромную скорость работы арифметического устройства. Электронная вычислительная машина, производящая около миллиона операций в секунду, затрачивает на сложение двух тридцатизначных чисел 0,00006 *сек*. За секунду такая машина способна выполнять около 150 000 сложений и вычитаний. Умножение и деление занимают несколько больше времени, поэтому машина успевает

выполнять за одну секунду лишь 50 000—100 000 таких действий.

Кроме арифметического устройства *АУ* в ЭЦВМ имеется ряд других важных узлов: запоминающее устройство, или память, *ЗУ*, устройство управления *УУ*, устройства для ввода исходных данных и программ (Ввод) и вывода полученных результатов (Вывод). Соединение этих устройств блок-схемы ЭЦВМ показано на рис. 38.

Чтобы машина могла решить задачу, в нее вводится программа решения — совокупность команд, показывающих, какие действия и в какой последовательности нужно производить над числами. Такую программу должен составить для машины человек. Программа эта наносится в закодированном виде на перфорированную ленту, перфокарту или магнитную пленку и вводится с помощью устройства ввода в память машины (т. е. запоминающее устройство). Составление программы вычислений (программирование) — важнейшая и наиболее трудоемкая работа при эксплуатации электронных счетных машин. От того, насколько рационально составлена программа, зависит эффективность работы машины. Поэтому к составлению привлекаются высококвалифицированные специалисты — математики-программисты.

Для «общения» математиков с машиной необходим «язык», который был бы понятен не только человеку, но и машине. Для сокращения времени на составление программы были разработаны специальные алгоритмические языки АЛГОЛ, АЛГЭК, ФОРТРАН, КОБОЛ и др. Использование алгоритмических языков в значительной мере облегчает общение человека с машиной.

Запоминающее устройство машины предназначено для хранения исходных данных задачи, программы, ее решения, промежуточных и окончательных результатов, многочисленных физических, математических и других постоянных (констант), которые могут понадобиться при решении задач. Основными требованиями, которые предъявляются к этому узлу машины, являются возможно больший объем памяти и возможно бóльшая скорость выборки нужных данных. Эти два требования противоречивы, так как чем больше объем памяти, тем больше времени тратится на выборку из нее.

Запоминающие устройства выполняются на радиолампах, на электронно-лучевых трубках, на ферритовых сердечниках, на магнитных лентах и барабанах. Чтобы уяснить себе принцип работы ЗУ, нет нужды подробно рассматривать все перечисленные выше устройства. Наиболее характерным, с нашей точки зрения, является ЗУ на магнитном барабане. Оно представляет собой полый дюралюминиевый барабан с очень тонким (десятки микрон) ферромагнитным покрытием, вращающийся со скоростью до нескольких тысяч оборотов в минуту. Запись и считывание информации производятся с

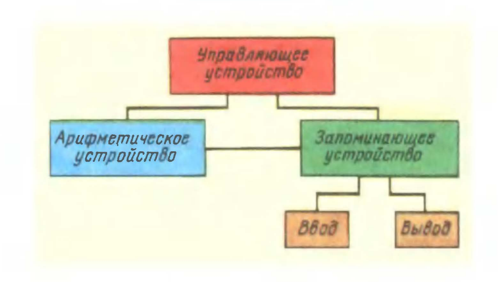


Рис. 38. Блок-схема электронной цифровой вычислительной машины.

помощью специальных магнитных головок, очень похожих на те магнитные головки, которые применяются в магнитофонах.

Самый простой способ записи — это нанесение на барабан информации в двоичном коде. Если пропускать импульсы тока по обмотке магнитной головки, то участки барабана намагнитятся в тех местах, которые проходили под головкой, и будут соответствовать записи 1, ненамагниченным участкам соответствует 0. Считывание чисел, записанных на барабане, производится в тот момент времени, когда намагниченный участок проходит под магнитной головкой. При этом в обмотке головки возбуждается импульс напряжения. Импульсы усиливаются и поступают в арифметическое или управляющее устройства, а в необходимых случаях — на устройство вывода результатов.

Прием, хранение и выдачу информации ЗУ осуществляет по командам, поступающим от устройства управления. Это устройство управляет действием всех узлов электронной вычислительной машины, обеспечивая автоматическое проведение вычислительного процесса, начиная с момента ввода программы и до получения окончательного результата.

Итак, обратившись снова к рис. 38, мы можем проследить за взаимодействием основных узлов ЭЦВМ во время ее работы. Через устройство ввода в машину подаются исходные данные задачи, которые воспринимаются запоминающим устройством. Затем арифметическое устройство приступает к вычислениям по команде, поступающей из управляющего устройства. Промежуточные результаты накапливаются в «памяти» машины (запоминающее устройство) и используются арифметическим устройством по мере надобности для продолжения вычислений.

Окончательный результат передается на устройство вывода, ему придается форма, удобная для прочтения или изучения. Обычно ответ получается в виде графиков или числовых таблиц. Устройство вывода может быть электромеханическим (например, электрическая пишущая машинка), электронным (электронно-лучевая трубка, на экране ко-

торой воспроизводится ответ) или фотопечатающим (ответ экспонируется на кинопленку).

СЕМЬЯ ЭЛЕКТРОННЫХ МАТЕМАТИКОВ

Впервые идею создания универсальной цифровой вычислительной машины с автоматическим управлением высказал еще в начале XIX в. английский математик Чарльз Баббедж. Позднее этот ученый разработал конструкцию такой машины и приступил к ее постройке.

По своей структуре машина Баббеджа была механическим прообразом современных электронных цифровых вычислительных машин. Она должна была состоять из двух основных частей — «завода» (арифметическое устройство) и «склада» (памяти) для хранения чисел. Память машины была механической, она содержала 1000 колонок по 50 цифровых колес. Положения колес соответствовали изображению цифры в десятичной системе счисления. Таким образом, емкость памяти составляла 1000 пятидесятиразрядных чисел.

Управление работой машины предполагалось осуществлять при помощи перфокарт. Щупы, проходившие в отверстия в картах, приводили в движение цифровые колеса. Каждое колесо по команде, выдаваемой с перфокарт, могло соединяться с «заводом», выполнявшим арифметические действия: результат этих действий машина отправляла обратно на «склад», а по окончании вычислений печатала на бумаге. Баббедж рассчитывал, что его машина сможет выполнять до 60 сложений пятидесятизначных чисел в минуту. Он надеялся, что ее можно будет использовать для составления и выверки некоторых математических и морских таблиц, таблиц логарифмов, для проверки данных астрономических наблюдений и решения других сложных и громоздких математических задач.

Однако постройка машины Баббеджа затянулась на многие десятилетия. После смерти ученого в 1871 г. работу продолжил его сын, но машину так и не удалось закончить. Механические детали и узлы машины были неточными и ненадежными, действовали они медленно и оказались непригодными для осуществления гениальной идеи ученого, более чем на столетие опередившего свою эпоху.

Лишь в тридцатых годах XX в. появились первые технические средства (электромагнитные реле, шаговые распределители), которые позволили осуществить идею Баббеджа.

На базе этих электромеханических элементов и была построена первая универсальная цифровая вычислительная машина «МАРК-1». Создана она была коллективом ученых и инженеров под руководством Говарда Эйкена в США в 1939—1944 г. Это был громоздкий многотонный счетный комбайн высотой в 2,5 и длиной более 15 *м*, содержавший многие тысячи электромагнитных реле, шаговых распределителей и переключателей. Машина «МАРК-1» могла выполнять три сложения в секунду; умножение на машине занимало около 6 *сек*, вычисление логарифма — около 1 *мин*.

В 1947 г. в США была построена более совершенная электромеханическая машина «МАРК-2». Появились электромеханические релейные машины и в других странах: СССР, Англии, Швеции, Голландии. Однако эти машины быстро устарели: на смену им пришли электронные машины, в которых место колес Бэббеджа и реле Эйкена заняли электронные лампы. Первая такая машина — «ЭНИАК» была построена в США в 1945 г. Она содержала около 18 000 электронных ламп, потребляла мощность 100 *квт* и занимала площадь более 120 $м^2$. Память этой машины состояла из 20 накопителей по 10 десятиразрядных чисел; для ввода и вывода использовались перфокарты. «ЭНИАК» выполнял около 1000 вычислительных операций в секунду.

С 1947—1950 гг. коллективы ученых и инженеров многих стран приступили к разработке электронных цифровых вычислительных машин.

В Советском Союзе первая ЭЦВМ была создана в 1950 г. в Институте математики АН УССР. Она получила название МЭСМ — малая электронная счетная машина. В 1953 г. в строй вступила БЭСМ — большая электронная счетная машина, построенная также для Академии наук УССР. Эта машина была признана тогда самой быстродействующей из европейских машин (средняя скорость счета — до 10 000 операций в секунду). Машины этих типов быстро нашли применение в различных отраслях народного хозяйства нашей страны. В это же время научные коллективы и конструкторские бюро развернули большую работу по улучшению и удешевлению ЭЦВМ, изысканию новых, более совершенных деталей, узлов и схем для них.

В середине пятидесятых годов появляются ЭЦВМ второго поколения. Если для машин первого поколения характерным было применение электронных ламп с навесным проводным монтажом, то во втором поколении электронных машин широко применяется печатный монтаж, используются полупроводниковые диоды, транзисторы, ферритовые элементы. У нас в стране первенцами второго поколения были машины «Раздан», УМШН (универсальная машина широкого назначения), «Сетунь», «Кристалл» и др. Они обладали значительно меньшими габаритами, были более экономичны, надежны и удобны в работе, чем ламповые машины. К 1964 г. выпуск ламповых ЭЦВМ практически был прекращен. В это время парк

ЭЦВМ во всех странах мира составлял около 20 000 машин, и потребность в них продолжала быстро возрастать.

Последние годы знаменуются новыми большими успехами в разработке ЭЦВМ. Появилось третье поколение электронных математиков — машины, в которых применяются сверхминиатюрные детали, микромодули и магнитные пленки, твердые схемы. Плотность монтажа в машинах третьего поколения достигла 2—3 тысяч элементов на 1 *см*^{3}, быстродействие — порядка 10^7 операций в секунду и более.

В нашей стране сейчас выпускается много ЭЦВМ различных типов — универсальных и специализированных.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ ПАРТНЕРЫ

ИГРЫ ПОВСЮДУ

Игра... При этом слове многие вспоминают приятные минуты и часы, проведенные за шахматной доской, на футбольном матче. Но игра или игровая ситуация встречается в нашей жизни значительно чаще, чем нам кажется. Играют не только партнеры за шахматной доской или две команды на футбольном поле. «Играет» врач, который ведет борьбу за спасение жизни больного. Он выбирает способ лечения, лекарственные препараты, или, другими словами, выбирает стратегию и тактику в этой игре — борьбе с болезнью. «Играет» начальник металлургического цеха. В начале рабочего дня он выясняет, сколько слитков осталось в печах от предыдущей смены, какие краны и печи на ремонте и какие могут потребовать ремонта в ближайшее время, сколько плавок будет сделано в мартеновском цехе и передано в его нагревательный цех. Он изучает ситуацию, сложившуюся к началу «игры». Затем «игрок» обдумывает ход. Учитывая ситуацию, он принимает решение начать в 10.00 выдачу слитков из печи № 5 краном № 3. Следующий этап игры — передвижение «фигур»: машинист крана № 3 направляет свой кран к печи № 5. Сварщик этой печи нажимает рычаг, и электромотор открывает крышку... В это время выходит из строя электромотор крана № 3. Ситуация меняется, и начальник цеха начинает обдумывать новый ход, разрабатывать новую стратегию и тактику.

Конфликтные ситуации можно встретить в самых различных областях деятельности человека: капитан побеждает морскую стихию; в учебной аудитории преподаватель, используя новейшие методические приемы, объясняет учащемуся закон физики; на командном пункте командира части правильная стратегия, выбранная командиром, помогает воинскому соединению одержать победу над противником.

И в эту минуту, когда, вы, дорогой читатель, читаете эту книгу, тоже складывается игровая ситуация между автором и читателем. Об этом написал американский математик Дж. Вильямс в своей книге «Современный стратег»: «Интересы читателя и автора противоположны, конечно, не в острой форме, но тем не менее определенно противоположны. Ведь мы (авторы) надеемся вовлечь вас (читателя) в тяжкий процесс мыслительной работы, в то время как вы, рассудительный человек, у которого достаточно много других забот, жаждете лишь отдыха и удовлетворения своего любопытства». Для того чтобы выиграть в этой игре с читателем, автор использует различные стратегические средства: увлекательность сюжета, своеобразную манеру изложения, занимательность иллюстраций и пр. В свою очередь читатель также может применить различную стратегию: он может вовсе не читать книгу, может бегло полистать ее, может просмотреть иллюстрации, а может внимательно прочитать отдельные главы или отрывки. Но представим вдруг, что автору удалось «заставить» читаталя прочесть книгу от начала до конца и построить описанные здесь кибернетические приборы, тогда можно считать, что автор выиграл в этой игре.

Конечно, у автора этой книги есть основания полагать, что читатель не останется в проигрыше в этой игре. Наша игра с вами, дорогой читатель, относится к так называемым неантагонистическим играм, т. е. к таким, в которых один из игроков добивается выигрыша не за счет проигрыша своих партнеров. Но существуют также игры антагонистические, в которых каждый из игроков стремится к максимальному выигрышу за счет максимального проигрыша других. К ним относятся почти все азартные игры, многие спортивные игры, войны, борьба классов в капиталистическом обществе.

Мы разделили все игры на антагонистические и неантагонистические исходя из такого признака, как отношение игроков к исходу игры. Различают игры и по другим признакам. По числу ходов игры подразде-

ляются на конечные (заканчивающиеся после конечного числа ходов) и бесконечные. По количеству участников игры делятся на игры одного лица (например, «солитер», «игра в пятнадцать» и т. п.), парные игры — с двумя участниками (например, шашки, шахматы, фехтование, бокс) и множественные — с тремя и более участниками (домино, теннис, волейбол, футбол). В некоторых множественных играх их участники образуют коалиции. При наличии двух постоянных коалиций множественная игра превращается в парную. Так, например, игра в домино является коалиционной игрой, если четыре игрока группируются попарно.

Различаются игры и по сумме выигрыша. В шахматах, шашках один игрок выигрывает то, что проигрывает другой; общая сумма выигрыша всех игроков равна нулю. Поэтому такие игры называются играми с нулевой суммой. На войне, охоте, рыбной ловле выигрыш одного и проигрыш другого не равны — эти игры называются играми с ненулевой суммой.

Важной характеристикой игры является характер и объем сведений о ходе игры, которыми располагает каждый из ее участников. Если каждый из игроков полностью осведомлен о состоянии игры на всех ее этапах и знает в каждый момент все ресурсы и возможности своих противников (игра ведется «в открытую»), то такая игра называется игрой с полной информацией. К таким играм относятся, например, шашки, «крестики и нолики».

Имеются и другие игры, в которых информация о ходе игры неполная. Ее участники не знают точно сил и возможностей противника (например, неизвестно, как распределились карты или косточки домино в начале игры, неизвестно, какие виды оружия применит противник во время боя и т. п.). Эти игры носят название игр с неполной информацией.

Среди игр много таких, в которых исход случаен и не зависит от поведения игроков. Эти игры называются случайными. Например, игра в «орлянку» (бросание монеты) — типичная случайная игра, так как ни один из игроков не может здесь повлиять своим поведением на результат — выпадание «орла» или «решки». Все ходы игроков в таких играх случайные. В других играх, наоборот, нет никаких случайностей, и результат полностью определяется поведением игроков, их личными ходами. К числу таких игр можно отнести шашки и шахматы, многие спортивные игры и соревнования. Такие игры называются детерминированными.

Наконец, существуют игры смешанного типа, в которых исход определяется отчасти случайными факторами, а отчасти — поведением игроков.

Итак, в теории каждая игра может быть охарактеризована рядом признаков и отнесена к определенному классу.

Например, шахматы — это антагонистическая конечная парная детерминированная игра с нулевой суммой и полной информацией.

Разумеется, теория игр не ограничивается их классификацией. «Сортировка» игр нужна лишь для того, чтобы легче было для однотипных игр найти общие их решения — выработать рекомендации по наиболее рациональному образу действия игрока в ходе развития конфликтной ситуации. Именно в этом и заключается основная цель теории игр.

Теория игр — сравнительно молодое направление в науке, хотя начало этому направлению было положено в работах математиков Э. Бореля и Дж. фон Неймана еще в двадцатых годах этого столетия. Особенно интенсивно оно стало разрабатываться после 1944 г., когда Дж. фон Нейман и О. Моргенштерн опубликовали первое систематическое и фундаментальное исследование по теории игр — книгу «Теория игр и экономическое поведение», в которой были сформулированы основные принципы научного анализа действия в конфликтных ситуациях. В наши дни круг применения теории игр быстро расширяется, достижения этой науки находят многообещающие приложения в самых различных областях деятельности человека.

КТО ПОБЕДИТ?

Самым простым и вместе с тем наиболее хорошо изученным классом игр являются парные конечные игры с нулевой суммой. В таких играх интересы игроков прямо противоположны, выигрыш одного из них равен проигрышу другого. Поэтому здесь можно рассматривать выигрыш только одного игрока, считая, что этот игрок стремится к достижению его максимума, в то время как второй игрок старается свести этот выигрыш к минимуму.

Рассмотрим пример такой игры.

Пусть каждый из игроков A и B одновременно и независимо друг от друга называет одно из трех чисел: 1, 2 или 3. Если сумма названных ими чисел оказывается четной, то игрок A набирает некоторое количество очков; если же она нечетная, то, наоборот, B набирает ту же сумму очков.

Очевидно, что эта игра детерминированная (каждый из игроков, называя выбранное число, делает личный ход, случайностей в игре нет). Ясно также, что она принадлежит к играм с неполной информацией (выбирая свой ход, каждый игрок не знает, какой ход сделает противник). Игрок A может выбрать один из трех вариантов хода, или, как говорят, у него есть три стратегии:

A_1 — назвать число 1,
A_2 — назвать число 2,
A_3 — назвать число 3.

У игрока B тоже имеются три аналогичные стратегии:

B_1 — назвать число 1,
B_2 — назвать число 2,
B_3 — назвать число 3.

Все возможные результаты игры для различных стратегий, выбранных игроками A и B, а также соответствующие выигрыши игрока A удобно представить в виде следующей таблицы (она называется «матрицей игры»):

A	B_1	B_2	B_3
A_1	2	—3	4
A_2	—3	4	—5
A_3	4	—5	6

Здесь на пересечении каждой пары стратегий игроков A и B записан выигрыш в очках, который получает игрок A. Если выигрыш отрицателен, то игрок B получает очки, игрок A их теряет. Например, если игрок A воспользуется стратегией A_3 (назовет число 3), а игрок B изберет стратегию B_2 (назовет число 2), то в результате сумма названных чисел окажется нечетной и равной 5. В таблице число 5 находится на пересечении третьей строки и второго столбца и указывает, что в этом случае выигрыш игрока A составит —5 очков, т. е. он проиграет игроку B 5 очков.

Игрокам известны все возможные исходы игры. Какую же стратегию наиболее рационально избрать каждому из них?

Нетрудно сообразить, что на любую из стратегий, выбранных игроком A, его противник может ответить наихудшим для A образом. Так, например, для игрока A весьма соблазнительно воспользование стратегией A_3, которая сулит ему выигрыш 6 очков или по крайней мере 4 очка (в случаях применения игроком B стратегий B_3 или B_1 соответственно). Но если при этом игрок B изберет стратегию B_2, то для игрока A дело обернется проигрышем в 5 очков. Аналогично, выбирая стратегии A_1 или A_2, игрок A также не может быть уверен в выигрыше. Разумеется, в таком же затруднительном положении находится и игрок B, который не знает, как сыграет A.

В «умной» и осторожной игре, без азарта, авантюризма и риска каждый из игроков не столько стремится к выигрышу, сколько к тому, чтобы уберечься от проигрыша. Практический опыт учит нас, что наиболее ощутимый проигрыш доставляет недооценка сил и умения противника. Поэтому каждому из игроков следует исходить из предположения, что его противник изберет наилучшую для себя стратегию. В соответствии с этим он должен выбрать свою стратегию так, чтобы наилучшая стратегия противника дала ему же наименьший выигрыш. Следовательно, для игрока A наиболее «безопасной» стратегией будет такая, у которой минимальный выигрыш является наибольшим по сравнению с минимальными выигрышами всех других его стратегий.

Для стратегии A_1 наименьшее значение выигрыша 3, для стратегии A_2 оно равно 5, а для стратегии A_3 — также 5. Максимальным из всех этих минимальных значений является число 3, которому соответствует стратегия A_1. Эта стратегия называется *максиминной* (от слов «максимум из минимумов»), а соответствующий ей выигрыш (в данном случае число 3) носит название нижней цены игры. Очевидно, нижняя цена игры — это тот гарантированный наименьший выигрыш, который может себе обеспечить игрок A, если он будет придерживаться наиболее осторожной, «перестраховочной» максиминной стратегии A_1 (в нашем примере максиминная стратегия гарантирует ему проигрыш не более 3 очков).

По совершенно аналогичным соображениям игрок B, в расчете на умелое поведение игрока A, должен отдать предпочтение той своей стратегии, у которой максимальный выигрыш противника будет наименьшим из максимальных выигрышей всех его стратегий. Для стратегии B_1 наибольшее значение выигрыша равно четырем, для стратегии B_2 оно также равно четырем, а для стратегии B_3 оно равно шести. Минимальный из этих максимумов равен четырем — это верхняя цена игры, ей соответствуют две *минимаксные* стратегии B_1 и B_2. Применяя любую из этих стратегий, игрок B гарантирован, что проиграет не более 4 очков. Но стратегия B_2 все же предпочтительнее, так как здесь игрок B имеет возможность выиграть 5 очков, в то время как применяя стратегию B_1 он имеет возможность выиграть только 3 очка.

Принцип осторожности, предписывающий игрокам выбор максиминной и минимаксной стратегий, называют в теории игр «принципом минимакса». Отступая от этого принципа в надежде на более крупный выигрыш, каждый из игроков идет на риск, связанный с возможностью более крупного проигрыша.

Из всего сказанного не следует, однако, что при многократном повторении этой игры наиболее безопасно для каждого из игроков все время придерживаться одной и той же минимаксной (или максиминной) стратегии. В самом деле, допустим на минуту, что игрок A до абсурда «сверхосторожный» чело·

век, и он неуклонно придерживается во всех партиях игры своей максиминной стратегии A_1, т. е. всегда называет число 1. Тогда уже по результатам первых нескольких партий его противник догадывается об этом и в дальнейшем будет неизменно отвечать выбором стратегии B_2 (т. е. всегда называть число *2*), обрекая игрока *А* на постоянный проигрыш.

Мы видим таким образом, что в подобных играх большое значение имеет фактор «разведки» — получение каждым игроком информации, на основании которой он смог бы «прогнозировать» стратегии, выбираемые противником. Чтобы затруднить противнику получение такой информации, нужно, очевидно, время от времени (от партии к партии) менять свои стратегии случайным образом, или, как говорят в теории игр, использовать смешанную стратегию. В теории игр строго доказывается, что для этой игры, которую мы рассмотрели в качестве примера, при многократном ее повторении наиболее целесообразной смешанной стратегией каждого из игроков (оптимальной стратегией) является такая смешанная стратегия, при которой число 2 называется вдвое чаще, чем числа 1 и 3. Если каждый игрок будет пользоваться такой смешанной стратегией, то игра будет «безобидной», и средний выигрыш каждого при большом количестве сыгранных партий будет равен нулю. Отклонение же от такой оптимальной стратегии грозит отклоняющемуся проигрышем.

ИВАН ИВАНОВИЧ ПОКУПАЕТ ДРОВА

В играх, подобных той, которую мы только что рассмотрели, оба игрока, отклоняясь от своих максиминной и минимаксной стратегий, должны тщательно скрывать свои намерения друг от друга. Только при этом условии каждый из них может уберечь себя от проигрыша.

Но есть и такие парные игры с нулевой суммой, в которых «осторожному» игроку не следует отклоняться от минимаксной (максиминной) стратегии даже при многократном повторении игры и нет необходимости скрывать это от своего противника. Речь идет об играх, у которых значения верхней и нижней цен игры (т. е. минимакс и максимин) совпадают. В таких случаях это общее значение минимакса и максимина (его называют чистой ценой игры) является наименьшим в своей строке матрицы и наибольшим в своем столбце, а об игре говорят, что ее матрица имеет «седловую точку». Это название объясняется тем, что подобная точка имеется на поверхности седла; она занимает наивысшее положение при поперечном его разрезе и наинизшее — при продольном разрезе.

Седловая точка матрицы (чистая цена игры) лежит на пересечении минимаксной и максиминной стратегий. Эти стратегии и являются оптимальными для обоих игроков. Если один из них решил придерживаться своей оптимальной стратегии, то для другого отклонение от своей оптимальной стратегии нецелесообразно, ибо в лучшем случае при этом его выигрыш останется неизменным, а в худшем — уменьшится. При этом наличие у любого из игроков информации о том, что его противник избрал свою оптимальную стратегию, не может изменить поведение этого игрока: если только последний не хочет действовать против своих же интересов, он и сам вынужден придерживаться своей оптимальной стратегии.

Рассмотрим в виде примера такую конфликную ситуацию.

Пусть некий гражданин — назовем его Иваном Ивановичем — живет в квартире с печным отоплением. На дворе сентябрь, и Иван Иванович весьма озабочен проблемой заготовки топлива на зиму. Он знает, что в случае обычной зимы (не очень суровой и не очень мягкой) для отопления квартиры необходимо 6 кубометров дров. Если зима будет мягкой, то потребуется всего 4 кубометра, а в случае суровой зимы придется израсходовать даже 8 кубометров дров. Цены на дрова в зимнее время тоже колеблются в зависимости от погоды и равны соответственно 6, 9 и 12 руб. за кубометр в случае мягкой, средней и суровой зимы. Однако сейчас, пока зима еще не наступила, Иван Иванович имеет возможность купить дрова по цене 6 руб. за кубометр.

Как поступить Ивану Ивановичу? Каким количеством дров запастись на зиму?

Если он закупит сейчас небольшое количество дров в расчете на мягкую зиму, а зима окажется суровой, то ему придется зимой покупать дрова дополнительно по более высокой цене. Если же он закупит сейчас много дров, то в случае мягкой зимы часть дров останется неизрасходованной. Через год эти оставшиеся дрова уже не понадобятся, так как Ивану Ивановичу известно, что летом к дому подведут теплотрассу, и в его квартире будет установлено центральное отопление.

«Топливные заботы» Ивана Ивановича представляют собой типичную игру с природой (или, если угодно, с погодой), которая является в этой игре противником нашего героя.

Стратегии Ивана Ивановича	Стратегии природы		
	Мягкая зима	Нормальная зима	Суровая зима
Купить 4 *куб. м*	—24	—42	—72
Купить 6 *куб. м*	—36	—36	—60
Купить 8 *куб. м*	—48	—48	—48

В этой матрице на пересечении строк и столбцов, соответствующих возможным стратегиям игроков, записаны расходы Ивана Ивановича в рублях. Например, если Иван Иванович запасает в сентябре 6 *куб. м* дров по цене 6 руб. за один кубометр (вторая строка), израсходовав на это 36 руб., а зима окажется суровой (третий столбец), то ему придется зимой дополнительно купить еще 2 кубометра дров по цене 12 руб. за один кубометр, израсходовав еще 24 руб. Общие затраты на топливо в этом случае:

$$36 + 24 = 60 \text{ руб.}$$

Это число и указано на пересечении второй строки и третьего столбца. Знак минус подчеркивает то обстоятельство, что деньги *затрачиваются*. Аналогично подсчитываются предполагаемые затраты Ивана Ивановича во всех восьми остальных случаях.

Рассматривая матрицу игры, нетрудно убедиться, что минимумы строк составляют соответственно —72, —60 и —48 руб., а максимумы столбцов: —24, —36 и —48 руб. Максимальный минимум строк и минимальный максимум столбцов одинаковы и равны —48 руб. Это и есть чистая цена игры и седловая точка. Она расположена на пересечении третьей строки и третьего столбца матрицы игры. Следовательно, Ивану Ивановичу наиболее целесообразно закупить в сентябре 8 кубометров дров по цене 6 руб. за кубометр.

Если он воспользуется этой своей оптимальной стратегией, то никакие капризы природы не заставят его израсходовать на дрова более 48 руб. Заметим, что природа — это своеобразный противник Ивана Ивановича — выбирает свою стратегию, конечно, не в зависимости от того, сколько дров решил закупить наш герой, но в теории игр это обстоятельство не имеет существенного значения.

КОГДА ИСХОД ИГРЫ ПРЕДРЕШЕН

В теории игр доказывается, что седловую точку имеет всякая игра с полной информацией, и, следовательно, для такой игры всегда существует пара оптимальных стратегий, гарантирующих игрокам выигрыш, равный цене игры. А так как при отклонении от оптимальных стратегий игроки могут только ухудшить свое положение, то наиболее разумное поведение каждого из них должно заключаться в выборе своей оптимальной стратегии. Но если оптимальные стратегии известны игрокам, то исход игры заранее предрешен и незачем играть. Поэтому игры с полной информацией имеют смысл лишь в тех случаях, когда игроки (или по крайней мере один из них) не знают своих оптимальных стратегий.

Аналогично дело обстоит и с другими играми с полной информацией и, в частности, с такими популярными спортивными играми, как шашки и шахматы: каждая из этих игр имеет седловую точку и пару оптимальных стратегий. Однако для шахмат и шашек эти оптимальные стратегии пока не найдены, так как число комбинаций возможных ходов слишком велико, чтобы можно было построить матрицу игры и найти в ней седловую точку. Действительно, в шахматах, например, только первый ход белые могут сделать 20 различными способами, и черные могут ответить на этот ход 20 независимыми ходами, так что только при первых ходах возможны 400 различных вариантов (20×20). Если при вторых ходах возможны 400 других вариантов, то тогда первые два хода обоих игроков можно осуществить 160 000 различными способами. Общее же число всех возможных вариантов игры в шахматы равно приблизительно 10^{140}. Это число настолько колоссально, что его трудно себе представить Для того чтобы переиграть все возможные варианты шахматных партий, всему населению земного шара потребовалось бы 10^{100} столетий непрерывной игры, в предположении, что каждый игрок делал бы ежесекундно по одному ходу. Вот почему эта древняя игра до сих пор не потеряла своей привлекательности.

ИГРОКОМ СТАНОВИТСЯ МАШИНА

Мы только что познакомились с некоторыми элементами теории игр и убедились, что для принятия решений в конфликтных ситуациях всегда приходится выполнять ряд вычислительных и логических операций. Мы знаем, что такие действия может выполнять с большой скоростью электронная цифровая вычислительная машина. Неудивительно поэтому, что сразу же после появления таких машин возникла идея использовать их для решения игровых задач. Так, известный американский ученый Клод Шеннон в 1950 г. высказал основные соображения о возможности машинной игры в шахматы, дав тем самым толчок для большого количества работ в этом направлении. Чтобы проверить свою гипотезу о возможности создания «играющих» машин, Клод Шеннон сам построил игровой автомат, играющий в «монетку» с человеком, и еще одну машину, умеющую играть в «монетку» с автоматом. Сам Шеннон, вспоминая об этом, пишет: «Была сконструирована третья машина (посредник), которая могла передавать информацию от одной машины к другой, считать очки и следить, чтобы игра велась по правилам. Все три машины были соединены вместе и играли несколько часов, причем зрители заключали небольшие пари и сопровождали игру громкими криками. Оказалось, что меньшая и, как предполагалось, менее умная машина победила большую со счетом 55 на 45. Возможно, это произошло потому,

что она быстрее меняла свои решения относительно партнера. Обе машины стараются найти схему игры друг друга, и как только одна найдет эту схему, другая начинает проигрывать и меняет ее».

Но игра в шахматы всегда будет увлекательной игрой для людей, а электронно-вычислительная машина найдет себя в таких сложных «играх», где выигрышем будет сталь, зерно, машины, здоровье и безопасность народа. Если наших читателей заинтересовала теория игр и им захочется попробовать построить несколько интересных моделей играющих машин, далее предлагается ряд относительно несложных конструкций для радиолюбителей разной квалификации. Простые машины может построить начинающий радиолюбитель, а машины посложнее адресуются радиолюбителям, имеющим опыт конструкторской работы.

Не все парные игры с полной информацией столь же сложны, как шашки или шахматы. В некоторых таких играх число возможных стратегий сравнительно невелико, их нетрудно до конца проанализировать и составить программу (алгоритм) оптимального поведения для одного из игроков. После этого оказывается уже нетрудным «заставить» машину играть. При этом вовсе не обязательно иметь в своем распоряжении большую электронную быстродействующую цифровую машину. Для такой игры как «крестики и нулики» и т. п. можно в любительских условиях построить небольшие и сравнительно несложные автоматы, собирая их из нескольких электромагнитных реле, лампочек, полупроводниковых диодов и других доступных деталей.

При постройке такой машины-автомата в ее «память» вводятся все возможные варианты игры — составляется «словарь» игры, т. е. набор рекомендаций. Это — своеобразный «рецепт» на все случаи игры. Когда машине во время игры нужно сделать ход, она просматривает свой «словарь» и выбирает наилучший ход для продолжения игры. Такая машина всегда будет играть оптимально. Наибольшее, на что может надеяться ее противник — это ничья, если только она вообще возможна.

НА ДЕВЯТИ КЛЕТКАХ

Играющие автоматы, подобные тем, о которых рассказывалось выше, доступны по степени их сложности для изготовления радиолюбителями.

Над их конструированием и монтажом с увлечением работают многие энтузиасты в технических кружках школ и внешкольных учреждений. Они вносят в конструкции и схемы своих моделей все новые добавления, изменения, усовершенствования.

Для начинающих радиолюбителей предлагается простая электрифицированная игра «крестики и нулики». Кто из нас в детстве не увлекался этой игрой? Кто не помнит жарких сражений, разгоравшихся на переменах между уроками и в часы досуга на листке бумаги с девятью квадратными клетками. Двое играющих ставят по очереди в одной из клеток свой знак — крестик или нулик. Побеждает тот, кто раньше заполнит своими значками строчку, столбик или диагональ игрового поля.

Игру «крестики и нулики» нетрудно электрифицировать. Для этого нужно укрепить на панели из оргстекла 9 переключателей и 18 лампочек (окрасив половину из них в красный цвет, а остальные — в зеленый), затем соединить их проводниками, как показано на рис. 39. Лампочки лучше взять малогабаритные — от карманного фонаря на 3,5 *в*, 0,28 *а*.

Внешний вид такого электрифицированного устройства для игры в «крестики и нулики» показан на рис. 40. Крестикам и нуликам при игре соответствуют красные и зеленые лампочки. Во время игры каждый из партнеров, занимая какую-либо клетку поля, должен перевести соответствующий этой клетке переключатель в левое или в пра-

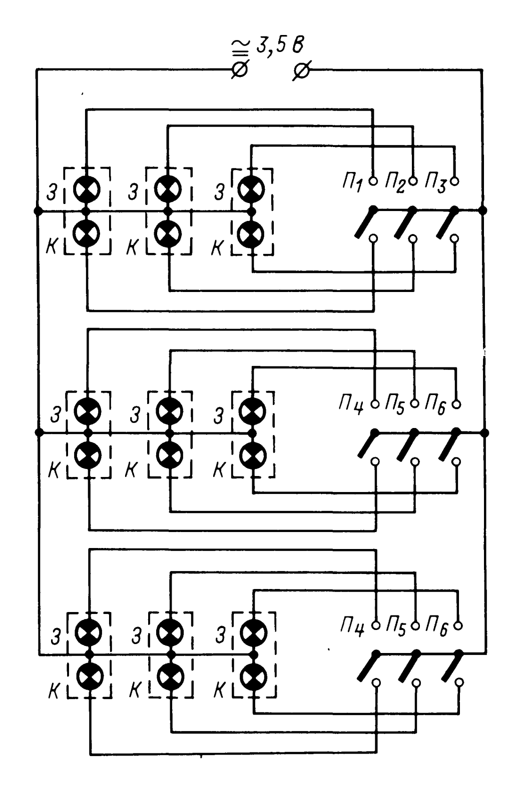


Рис. 39. Принципиальная схема электрифицированной игры в «крестики и нулики».

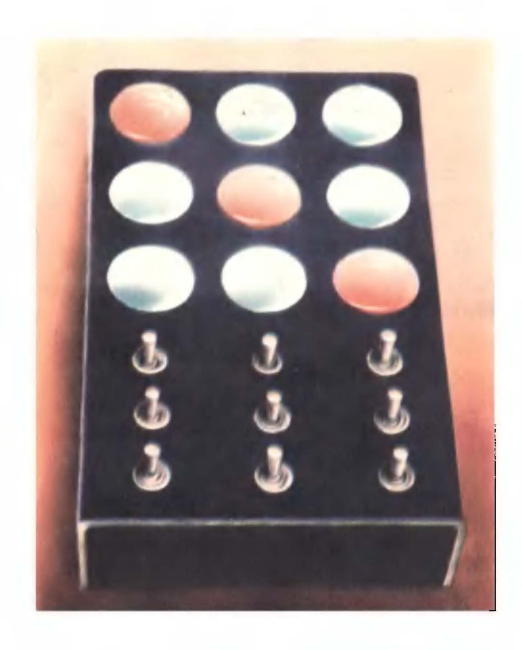


Рис. 40. Внешний вид корпуса электрифицированной игры «крестики и нулики».

вое положение, включая лампочку своего цвета.

Разумеется, такое электрифицированное устройство нельзя называть играющей машиной: оно является удобным и простым инструментом для игры. Сама же игра протекает обычно, как и на бумаге.

Для радиолюбителей средней квалификации мы предлагаем модель автоматической машины для игры в «крестики и нулики». Несмотря на кажущуюся простоту игры в «крестики и нулики», число возможных вариантов партий здесь очень велико. В самом деле, тот, кто начинает игру, может сделать ход в любую из девяти клеток, а его партнер в ответ занимает одну из оставшихся восьми клеток. Следовательно, только для первого хода двух партнеров в этой игре имеется $9 \times 8 = 72$ варианта; вторым своим ходом первый игрок выбирает одну из семи клеток, второй игрок одну из оставшихся шести и т. д.

Если считать, что игра заканчивается, когда заняты все клетки, то общее число возможных вариантов игры составит $9 \times 8 \times 7 \times 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 362\,880$. В действительности же во многих случаях игра заканчивается победой одного из партнеров до того, как все клетки будут заполнены крестиками и нуликами, поэтому количество вариантов игры несколько меньше приведенного числа, но все же оно остается очень большим.

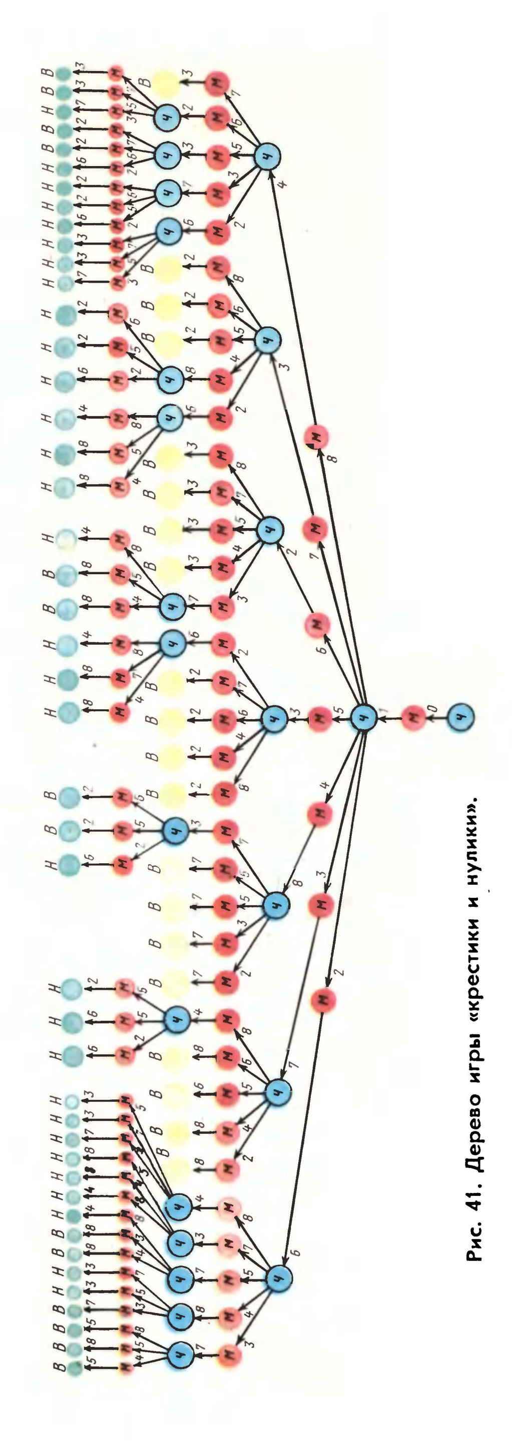


Рис. 41. Дерево игры «крестики и нулики».

Все варианты игры можно разбить на несколько серий. Подсчитано, что в каждой серии есть 512 вариантов по четыре хода, придерживаясь которых, машина не проиграет. А если ее партнер невнимателен, то 360 вариантов приведут машину к победе. Неудивительно, что для создания играющего в «крестики и нулики» автомата обычно используется быстродействующая цифровая вычислительная машина.

Можно сократить объем памяти автомата настолько, чтобы модель машины для игры в «крестики и нулики» стала доступной для изготовления в любительских условиях.

В автомате право первого хода предоставлено человеку. Наиболее рациональным тактическим ходом в игре «крестики и нулики» считается ход с занятием центральной (нулевой) клетки. Выясним, какой стратегии должна придерживаться машина, чтобы выиграть партию у человека или, в крайнем случае, свести ее вничью. Последовательность ходов, совершаемых партнерами (в нашем случае это человек и машина), удобно изображать графически в виде дерева игры. Для этого рассмотрим рис. 41, где изображено дерево игры с оптимальными ходами машины и ходами человека, которые могут быть как оптимальными (безошибочными), так и ошибочными. Если человек будет делать оптимальные ходы — машина сведет игру вничью; если человек ошибается — машина выигрывает.

Дерево игры (или иначе граф игры) состоит из узлов (вершин) и ветвей (дуг). Узлы на дереве игры изображены кружками и обозначены буквой *Ч* (Человек) или буквой *М* (Машина) в зависимости от того, чей ход изображен на дереве игры.

Ветви дерева игры изображены стрелками, возле которых проставлены цифры, обозначающие выбранную клетку игрового поля: результат игры — вершиной в виде заштрихованного кружка. Буквы *Н* или *В* соответственно обозначают «ничья» или «выигрыш» машины.

АВТОМАТ ДЛЯ ИГРЫ В «КРЕСТИКИ И НУЛИКИ»

Корпус автомата представляет собой наклонный пульт, на передней панели которого имеется игровое поле с девятью клетками (рис. 42). Игровое поле выполнено из опалового (молочного) органического стекла. Каждая клетка игрового поля снабжена кнопкой, с помощью которой человек выполняет свой очередной ход. Свой ответный ход машина выполняет автоматически сразу же после хода человека. На передней панели автомата размещены кнопка «Пуск» и тумблер включения сети «Вкл.». На наклонной панели имеются два световых табло с надписями: «Ничья», «Вы проиграли». Каждый квадрат игрового поля высвечивается либо белым, либо красным цветом. Ход человека автомат фиксирует на клетке игрового поля белым светящимся квадратом, а ход машины — красным.

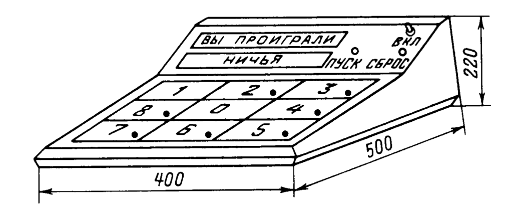


Рис. 42. Внешний вид автомата для игры в «крестики и нулики».

Принципиальная схема автомата. Игра начинается с того, что человек нажимает кнопку (рис. 43) «Пуск», при этом замыкается цепь питания реле *П*, оно срабатывает и самоблокируется. Тем самым подается напряжение на шину питания блок-контактов реле $Ч_2$ — $Ч_8$ (индекс каждого реле соответствует номеру клетки игрового поля). Одновременно на шине *2 ход* появляется напряжение, которое подается через нормально замкнутые контакты *1б* и *2б*. Реле *П* своими контактами включает лампу $ЛБ_0$ (рис. 44) белого цвета (человек сделал первый ход) и одновременно включается лампа $ЛК_1$ (машина сделала ответный ход, заняв первую клетку игрового поля).

При нажатии любой из кнопок хода человека $Кн_2$ — $Кн_8$ срабатывает реле *Р*, переключающиеся контакты которого задают тактовые импульсы, поступающие на вход релейного коммутатора (см. рис. 43).

В схеме автомата «крестики и нулики» имеется релейный коммутатор, предназначенный для поочередного включения питающих шин *3 ход*, *4 ход*. Он работает следующим образом. При срабатывании реле *Р* контакт его замыкается на шину *а*, при этом реле *Р1*а срабатывает и самоблокируется. В цепи питания реле *П1б* замыкается контакт реле $1а_1$, тем самым подготавливается цепь для срабатывания реле *Р1б*.

При отпускании нажатой кнопки реле *Р* обесточивается и его контакт возвращается в исходное состояние и подключает питание к шине *1б*. В этот момент реле *Р1б* самоблокируется и нормально замкнутым контактом обрывает цепь питания реле *Р1*а. Коммутатор выполнит один такт, при этом реле *Р1б* своим нормально разомкнутым контактом включит напряжение на шину *3 ход*. При повторном срабатывании реле *Р* аналогичным образом поочередно срабатывают реле *Р2*а, *Р2б* и на шине *4 ход* появляется напряжение.

Рассмотрим работу машины на конкретном примере. Допустим, что после нажатия кнопки «Пуск» человек нажал кнопку на

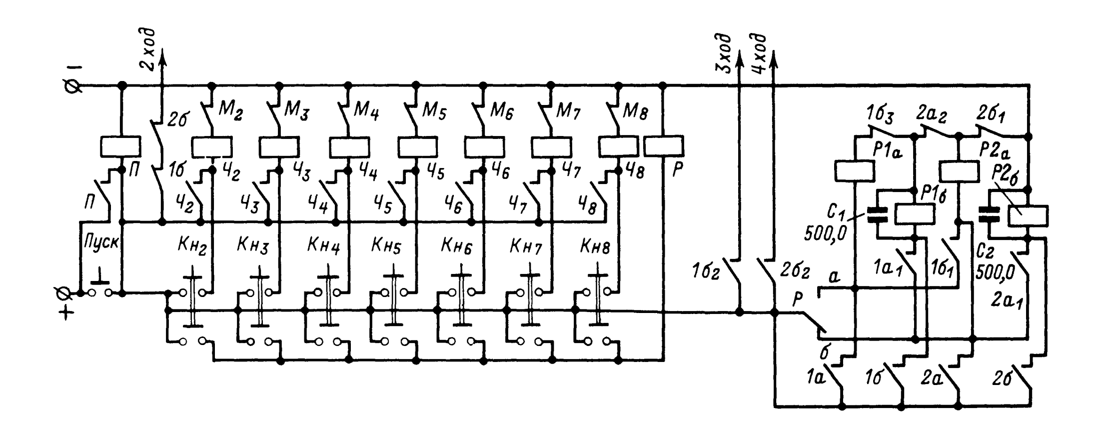


Рис. 43. Принципиальная схема блока реле реализации ходов человека.

третьей клетке игрового поля, сделав свой очередной ход. При нажатии кнопки $КН_3$ срабатывает реле $Ч_3$ и самоблокируется, при этом клетка *3* игрового поля начинает светиться белым светом. Реле $Ч_3$ своим нормально разомкнутым контактом подает напряжение на обмотку реле $М_7$ (рис. 45), которое срабатывает и самоблокируется, включая лампу $ЛК_7$ (см. рис. 44). Седьмая клетка игрового поля начинает светиться красным цветом, а релейный коммутатор выполняет первый такт. В этот момент на шине *3 ход* появляется напряжение. Затем следует очередной ход человека на любую свободную клетку. Например, человек выбрал четвертую клетку игрового поля. При нажатии кнопки $Кн_4$ срабатывает реле $Ч_4$ и становится на самоблокировку. Замкнувшиеся контакты реле $М_7$ и $Ч_4$ образуют цепь питания для реле $М_8$, при этом загораются лампы $ЛБ_4$, $ЛК_8$ (см. рис. 44).

В этот же момент зажжется табло «Вы проиграли». Цепь питания лампы этого табло включается через реле *ВП* схемы блока управления световыми табло (рис. 46).

Если выполнены ходы: человек *0*, машина *1*, человек *3*, машина *7*, человек *4*, машина *8*, то в блоке управления будут замкнуты контакты $М_7$, $М_8$. Если проанализировать сыгранную партию, то можно обнаружить, что человек допустил ошибку, заняв клетку *4*. Если бы он занял клетку *8* и не допустил ошибок в последующих ходах, то он бы мог свести игру к ничейному результату.

Конструкция автомата. Автомат смонтирован в алюминиевом корпусе размером 500 × 400 × 220 *мм*. Чертеж корпуса дан на рис. 42. В автомате могут быть применены реле типа РКН. Количество контактных групп у реле приведено в таблицах на стр. 44. Так как наша промышленность не выпускает реле с большим набором контактных групп, то для увеличения их количества необходимо запараллелить несколько однотипных реле.

Питание автомата осуществляется от типового двухполупериодного выпрямителя напряжением 24 *в*, ток нагрузки 1 *а*. Для подсветки игрового поля применяются лампы напряжением 26 *в*, одна из ламп в каждой

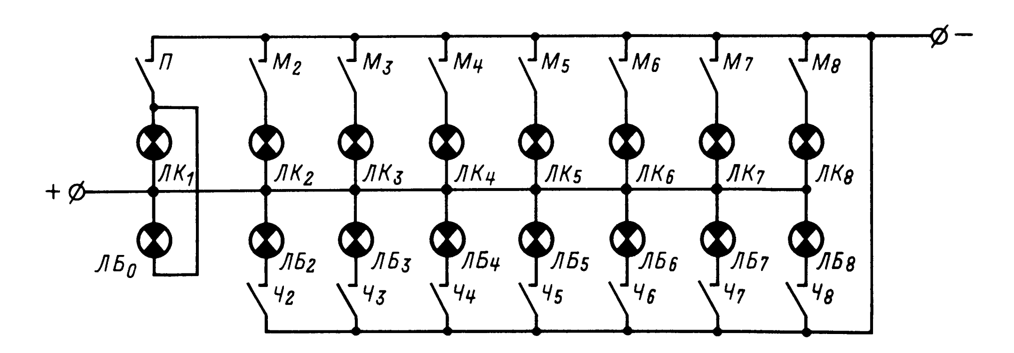


Рис. 44. Принципиальная схема индикации игрового поля кибернетической игры «крестики и нулики».

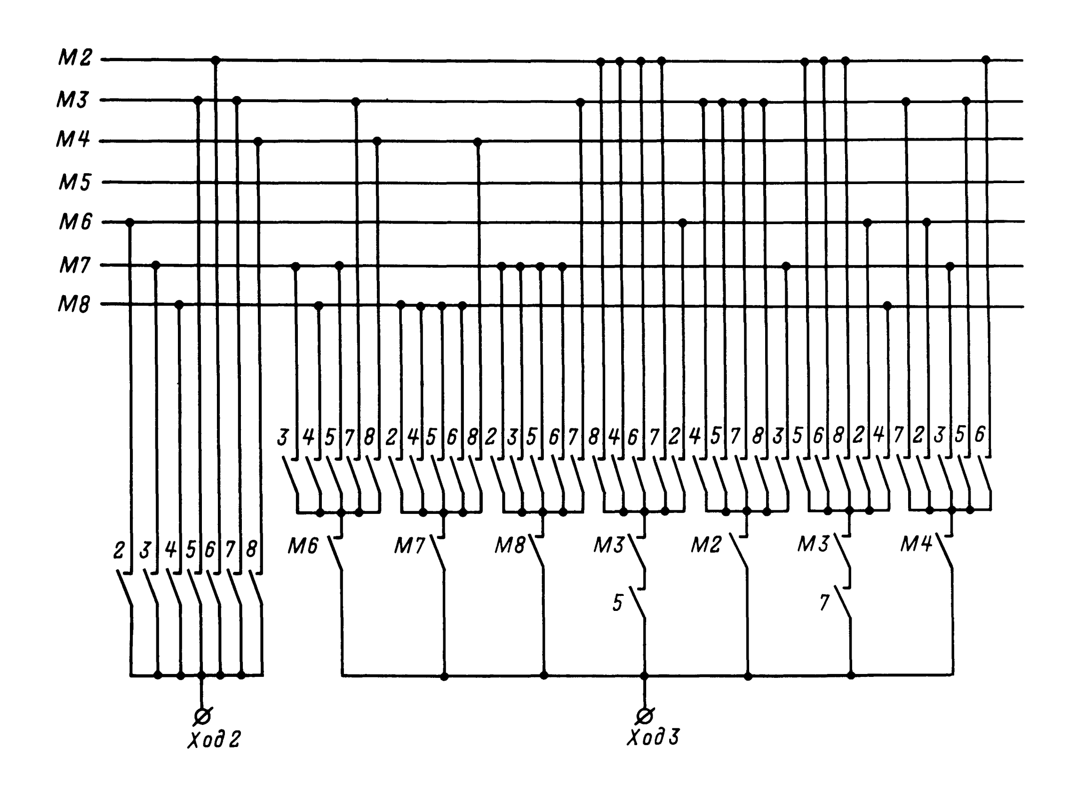


Рис. 45. Принципиальная схема блока реле реализации «ответных ходов» автомата.

клетке игрового поля окрашивается в красный цвет. Перегородки, делящие игровое поле на клетки, изготовляются из белой жести или алюминия. При правильном монтаже автомат не требует наладки и начинает работать сразу же после включения.

Реле	П	$Ч_2$	$Ч_3$	$Ч_4$	$Ч_5$	$Ч_6$	$Ч_7$	$Ч_8$	Р
Нормально разомкнутые контакты	2	15	16	14	21	12	20	14	—
Нормально замкнутые контакты	—	—	—	—	—	—	—	—	2
Переключающиеся контакты	—	—	—	—	—	—	—	—	1

Реле	$М_2$	$М_3$	$М_4$	$М_5$	$М_6$	$М_7$	$М_8$	ВП	$Р1_а$	$Р1_б$	$Р2_а$	$Р2_б$
Нормально разомкнутые контакты	3	10	7	3	8	8	7	1	2	3	2	3
Нормально замкнутые контакты	1	1	1	1	1	1	1	—	—	—	—	—
Переключающиеся контакты	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

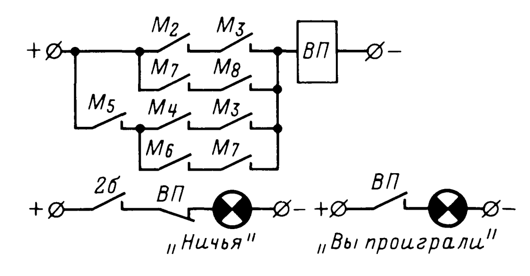


Рис. 46. Принципиальная схема блока управления световым табло игры «крестики и нулики».

КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ ИГРА «ВОЛК И ОХОТНИКИ»

Многие знают игру, в которую играют на шашечной доске и называют ее «волк и овцы», другие «волк и охотники». Нам кажется, что последнее название более правильно отображает ее сущность. Ниже приводится конструкция этой игры, где одним из партнеров является кибернетическая машина.

Правила игры. На шахматной доске в клетках *b8*, *d8*, *f8*, *h8* расположены четыре пешки (охотники). На другой половине доски в любой из клеток *a1*, *c1*, *e1*, *g1* располагается одна пешка «волк». Охотники могут передвигаться только вперед на одну клетку, так же как и при игре в шашки. «Волк» передвигается до тех пор, пока он не встретится с «охотником» на смежной клетке. В случае встречи «волк» имеет право отойти назад. Задача «охотников» заключается в том, чтобы «прижать волка» к линии ряда *1*. Задача «волка» — «прорваться» через цепь «охотников», достигнув восьмой линии на шахматной доске. В кибернетической игре ходы охотников выполняются электронным устройством, ходы «волка» выполняет человек.

Принципиальная схема. Местонахождение каждого «охотника» обозначается на шахматной доске светящейся клеткой. Ход «волка» выполняется фишкой-штекером, которая вставляется в контакное гнездо, имеющееся на клетках шахматного поля (рис. 47). Ход «охотника» (автомата) осуществляется нажатием кнопки $Кн_1$ с надписью «Ход охотника».

«Волк» должен «прорвать» ряд «охотников», но не имеет права перепрыгивать через

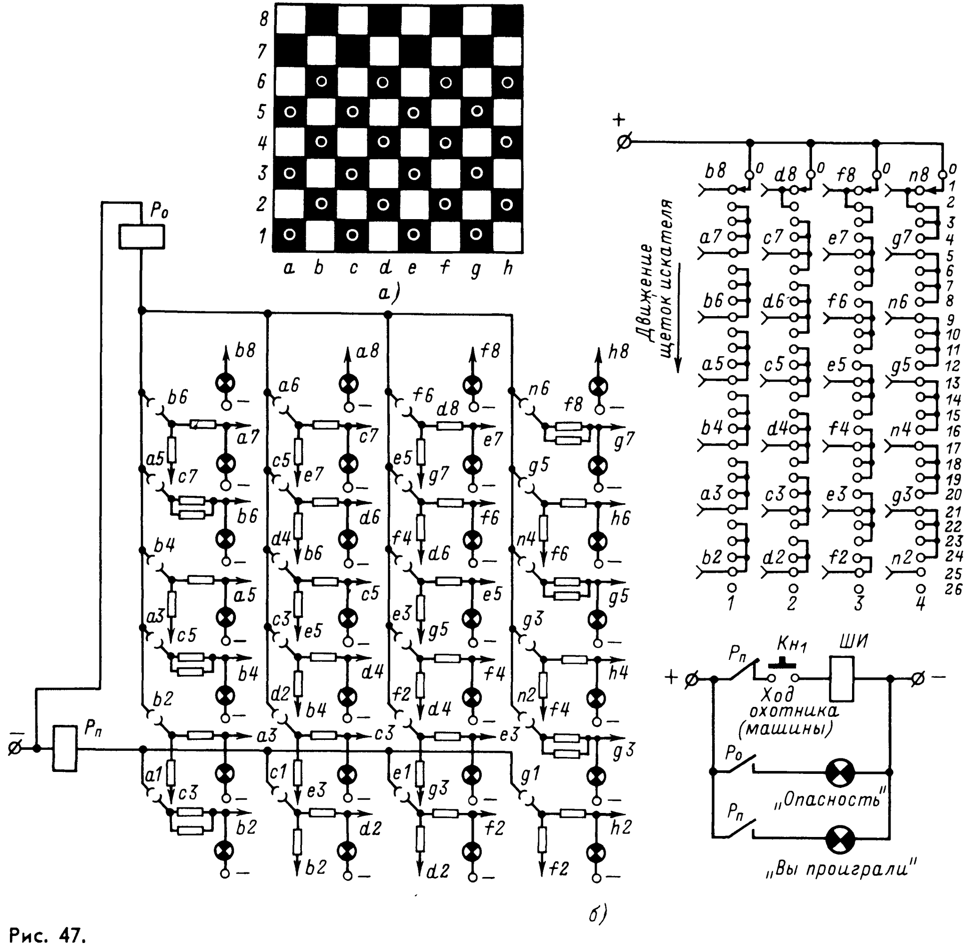


Рис. 47.

а — игровое поле автомата игры «волк и охотники»; *б* — принципиальная схема автомата игры «волк и охотники».

клетки, занятые «охотниками». Задача «охотников» противоположна. В этой игре право первого хода может быть предоставлено как человеку, так и машине.

При включении автомата загораются четыре лампы, подсвечивающие клетки *b8*, *d8*, *f8*, *h8*. Это является сигналом готовности машины к игре. Допустим, что право первого хода предоставлено человеку. Он вставляет фишку-штекер в любое гнездо ряда *2*. После этого нажимает кнопку $Кн_1$. Шаговый искатель делает один ход и щетки его переключаются с контакта *1* на контакт *2*, при этом плюс источника питания подается на контакты лампочек, подсвечивающих клетки *a7*, *d8*, *f8*, *h8*. Клетка *b8* гаснет, а клетка *a7* высвечивается, но остальные три клетки на восьмом ряду продолжают светиться. Затем переставляется фишка-штекер — выполняется ход «волка», вновь нажимается кнопка $Кн_1$ — выполняется ход «охотника». Шаговый искатель переходит на следующую позицию.

Итак, поочередные ходы продолжаются до тех пор, пока перед «волком» не появятся два «охотника». Если перед «волком» окажется только один «охотник», то последовательно с реле $Р_0$ будет включен только один резистор. Ток для срабатывания реле $Р_0$ будет недостаточен. При появлении в соседней клетке второго «охотника» в эту цепь включится второй резистор параллельно первому. Ток, протекающий через оба резистора, возрастет и станет достаточным для сраба-

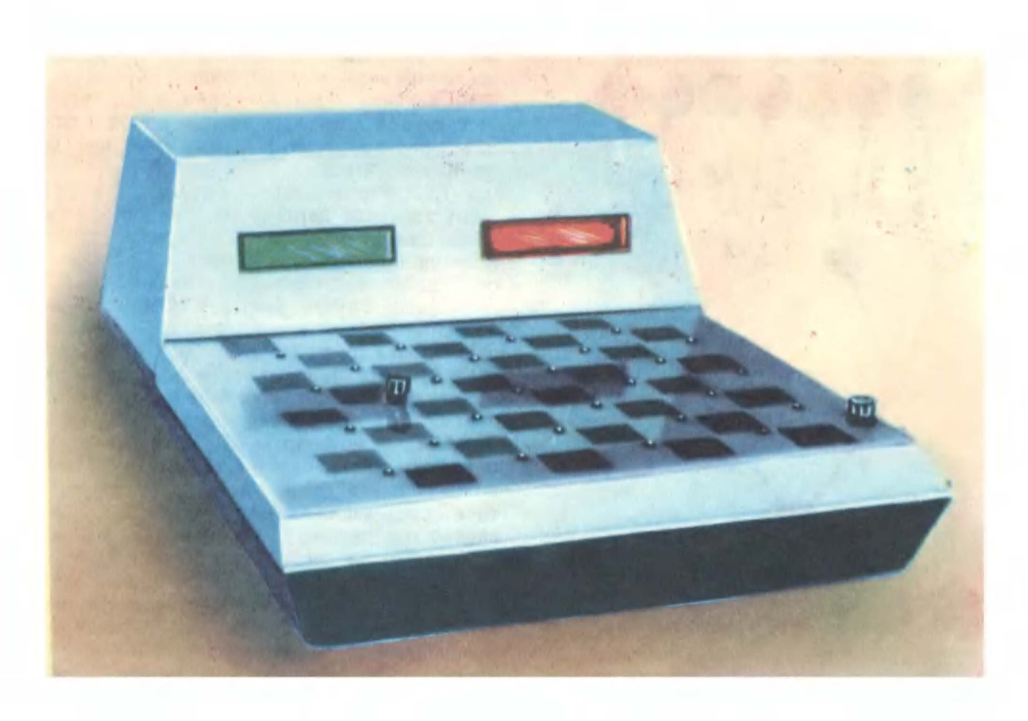


Рис. 48. Внешний вид автомата для игры «волк и охотники».

тывания реле P_0. Например, «волк» находится на клетке *d4*, а «охотники» на клетках *c5*, *e5*. В этом случае фишка-штекер «волка» замкнула контактное гнездо *d4*. Через контакты шагового искателя *c5*, *e5* (позиция шагового искателя *12*), поля 2 и 3 и контактное гнездо *d4*, замкнутое фишкой, поступает положительное напряжение на реле P_0. Зажигается табло «Опасность». При этом «волк» может продолжить игру, сделав ход назад. В этом случае табло «Опасность» гаснет, т. е. фишка убирается и размыкает цепь реле P_0. Игра будет продолжаться до тех пор, пока «волк» не окажется в одной из клеток ряда *1*. В этом случае фишка-штекер «волка» замыкает цепь реле $P_п$, и если с двух сторон «волка» окажутся «охотники», включится реле $P_п$ и на табло высветится надпись: «Вы проиграли». Лампа этого табло включается нормально разомкнутым контактом реле $P_п$.

Перед началом новой партии необходимо шаговый искатель возвратить в исходное состояние (позиция *1*). Для этого на пульте автомата нажимается кнопка «Сброс». Схема возврата искателя аналогична описанной в кибернетической игре «веришь — не веришь».

Детали. В кибернетической игре применены следующие детали: шаговый искатель ШИ-25/8 напряжением срабатывания 24 *в*, телефонные гнезда 24 шт., осветительные лампочки напряжением 26 *в* — 28 шт., реле $P_п$, P_0 типа РЭС-22, кнопка $Кн_1$ любая с двумя контактами на замыкание.

Величина сопротивления резисторов, образующих матрицу игрового поля, может быть определена по следующей формуле:

$$R_x = \frac{2(U - IR_р)}{I},$$

где R_x — величина сопротивления резистора матрицы; U — напряжение источника тока; I — ток срабатывания реле в амперах; $R_р$ — сопротивление обмотки реле.

Правильно собранное кибернетическое устройство начинает работать сразу и не требует наладки. Внешний вид автомата дан на рис. 48.

КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ ИГРА «ВЕРИШЬ — НЕ ВЕРИШЬ»

Прототипом кибернетической игры является популярная карточная игра «веришь — не веришь».

В основу этой игры положен простой алгоритм, следуя которому, один из игроков, для того чтобы выиграть, должен передать партнеру имеющиеся на его руках карты. Любому партнеру засчитывается выигрыш в одно очко в том случае, если ему удается передать одну карту своему «противнику».

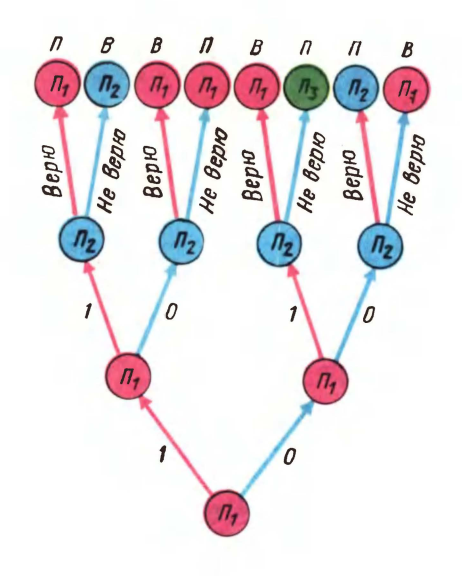


Рис. 49. Дерево игры «веришь — не веришь».

Ход игры. Карты раздаются поровну между двумя игроками. Первый игрок кладет на стол карту, не показывая ее партнеру, называя при этом правильно или неправильно ее достоинство. После чего он спрашивает: «Веришь — не веришь?». В случае, если партнер ответил «Верю» и карта соответствовала названной, она остается у того, кто делал ход. Этим самым был завершен один шаг игры.

Рассмотрим второй возможный случай. Допустим, что партнер ответил: «Не верю», и на самом деле карта не соответствовала названной, он получает очко в виде карты, оставшейся у своего «противника».

Третий случай. Партнер сказал: «Верю», но карта не совпала с названной, очко засчитывается тому, кто делал ход. В четвертом случае если партнер сказал: «Не верю», а карта соответствует названной, очко засчитывается тому, кто предъявлял карту.

Мы рассмотрели только четыре варианта развития каждого шага этой игры. Исход каждого шага будет зависеть от сочетания трех следующих факторов: какой картой сделал ход партнер (в нашем случае 0 или 1); правильно ли он назвал свою карту; что ответил «противник», верит он или не верит.

Читателю нетрудно догадаться, что число исходов равно 2^3, т. е. 8. Если представить каждый шаг игры графически, то мы получим дерево игры, кружки обозначают номера партнера, а стрелки — действия игроков (рис. 49). Проследим ход, положив на стол карту условным достоинством «единица», назвав ее «нулем». Противник ответил «Верю». В этом случае партнер $П_1$ выигрывает очко.

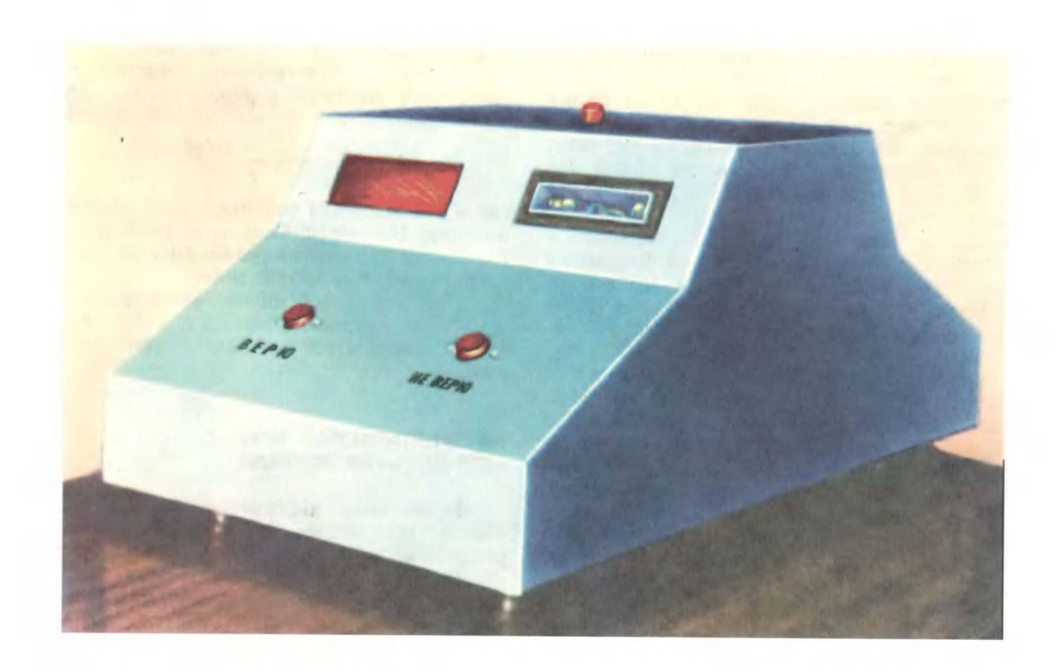


Рис. 50. Внешний вид автомата игры «веришь — не веришь» (со стороны партнера А).

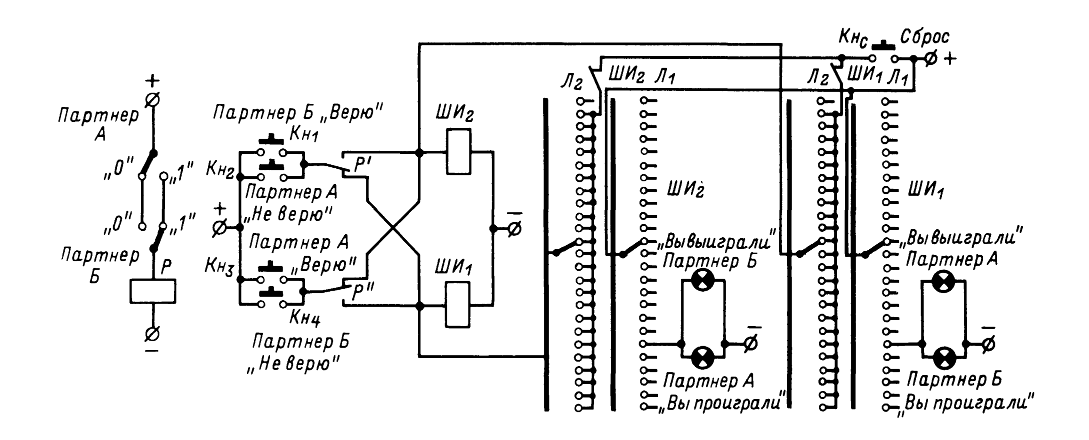


Рис. 51. Принципиальная схема игры «веришь — не веришь».

На дереве игры, описанной выше, вариант выглядит так. Партнер $П_1$ предъявил карту — это обозначено стрелкой с цифрой *1*. Следующая стадия шага игры: партнер $П_1$ назвал карту «нулем»— это обозначено стрелкой, идущей от $П_1$ к $П_2$. Затем ответный ход противника $П_2$. Он ответил словом «верю» — это обозначено стрелкой «верю», идущей от $П_2$ к $П_1$. На этом завершается шаг, который обозначен на дереве игры кружком $П_1$ с буквой *В* (выигрыш).

Независимо от исхода предыдущего шага игры право каждого последующего хода предоставляется игрокам поочередно. Игра продолжается до тех пор, пока один из партнеров не передаст все имеющиеся у него карты. А выигравшим считается тот партнер, на руках у которого не остается карт. В отличие от карточной игры, игра с помощью машины сводится к угадыванию двух состояний: 0 и 1.

Предлагаемое кибернетическое устройство позволяет автоматизировать судейство данной игры. Для введения информации в устройство имеются тумблеры с двумя состояниями: «Включено» и «Выключено», а очки суммируются с помощью шаговых искателей.

Устройство (рис. 50) представляет собой два наклонных пульта, расположенных под углом друг к другу таким образом, чтобы партнеры не видели, в каком положении находятся тумблеры на пульте своего противника. На каждом пульте расположены по одному тумблеру «ход игрока» с двумя положениями: «0» и «1», и две кнопки с надписью: «Верю» и «Не верю». Над пультом крепятся два световых табло с надписями: «Вы выиграли», «Вы проиграли».

Схема работает следующим образом (рис. 51). Допустим, что партнер *А* установил тумблер в положение «0» и называет цифру 0. Партнер *Б* включил свой тумблер в нулевое положение и, в том случае, если он верит партнеру, делающему ход, нажимает кнопку «Верю». Напряжение источника питания через замкнувшиеся контакты кнопки $Кн_1$, через контакты $Р'$ поступают на обмотку шагового искателя $ШИ_2$, который делает один шаг, засчитывая очко партнеру *Б*.

Таким образом, во время каждого хода игры возможна одна из восьми описанных выше ситуаций. Во время игры партнеры обмениваются ходами. После хода партнера *А* делает ход партнер *Б*. Допустим, что партнер *Б* поставил тумблер в положение «1» и объявил 0, партнер *А* ставит тумблер в нулевое положение, в этом случае цепь питания реле *Р* разомкнута. Если партнер *А* верит и нажал кнопку $Кн_3$ («верю»), образуется цепь: плюс источника питания, замкнутые контакты $Р''$, обмотка шагового искателя $ШИ_2$. и минус источника питания. Очко засчитывается партнеру *Б*.

Таким образом игра продолжается до тех пор, пока у одного из партнеров не зажжется табло: «Вы проиграли», автоматически у другого партнера зажигается табло: «Вы выиграли».

Для того чтобы подготовить кибернетическое устройство к следующей партии, необходимо поставить щетки шагового искателя в исходное положение. Для этого имеется кнопка сброса ($Кн_с$). Сброс происходит следующим образом: при нажатии кнопки $Кн_с$ плюс от выпрямителя через нормально замкнутые контакты $ШИ_1$ и $ШИ_2$, ламели обоих шаговых искателей $Л_2$, подвижные контакты (щетки) подается на обмотки шаговых искателей, в результате чего шаговые искатели срабатывают, возвращаясь в исходное состояние.

Детали. В данном устройстве можно использовать любые кнопки с одним нор-

мально разомкнутым контактом, реле P имеет два контакта на переключение и должно срабатывать от напряжения 25 *в* (например, можно использовать реле РЭС-6, паспорт РФО 452.143). Шаговые искатели используются типа ШИ-25/4, паспорт РСЗ 250.040Сп. Кнопка сброса $Кн_с$ имеет один контакт на замыкание. Для светового табло используются лампочки для освещения шкал радиоприемников 26 *в*.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ШТУРМ ВЕЛИКОГО ТАИНСТВА

ТОКИ, РОЖДЕННЫЕ В МЫШЦАХ

В коридорах и аудиториях раздавалась приглушенная речь на многих языках мира. Ученые, работавшие в области кибернетики, собрались на свой Первый международный конгресс по автоматическому управлению. Этот конгресс был самым представительным форумом по кибернетике за последние годы. На нем присутствовал отец кибернетики Норберт Винер.

Шел очередной доклад: вдруг в зале стало тихо. Докладчик сделал паузу. На сцену вышел юноша, медленно подошел к доске, взял мел и написал: «Привет участникам конгресса!». Зал еще несколько минут молчал, а потом грянули аплодисменты, которым могли бы позавидовать эстрадные звезды первой величины. Что же восхитило маститых ученых? Юноша, написавший на доске эти простые слова, был без руки. Слова писались на доске с помощью протеза, который управлялся биотоками. Присутствующие в зале ученые, гости и корреспонденты стали свидетелями рождения новой ветви кибернетики — биоэлектрического управления.

Создание биоэлектрического управления стало возможным благодаря работам русских ученых, которые проводились еще на рубеже XIX—XX вв. Рождение электромиографии началось с опытов, проведенных в лабораториях И. Н. Сеченова в Петербурге. В конце XIX в. естествоиспытатели занимались проблемой возникновения биотоков в мышцах животных. Было проведено много экспериментов, чтобы измерить биоэлектрические сигналы, но все они оканчивались неудачами. И только молодому русскому ученому Николаю Введенскому, ученику знаменитого физиолога И. Н. Сеченова, удалось услышать биотоки мышцы.

В 1883 г. у себя в лаборатории он провел интереснейший опыт. Провода от телефонного аппарата были припаяны к двум тонким стальным булавкам, а булавки введены в бицепс руки. Приложив телефон к уху, ученый услышал ровный гул. Когда мускулы расслаблялись, высота этого звука повышалась, напряжение мышцы вызывало в трубке звук низкого тона. Так Николай Введенский услышал биотоки, рожденные мышцей.

Биопотенциалы, рожденные в мышцах, очень слабы. Их амплитуда лежит в пределах от 20 до 100 миллионных долей вольта, частота от 80 до 250 колебаний в секунду. Чтобы усилить такие слабые сигналы, необходимо иметь усилитель с коэффициентом усиления в несколько десятков тысяч. Такие усилители были созданы только в последние годы. А в те далекие годы, когда работал Николай Введенский, еще не было ни радиоламп, ни транзисторов, техника не могла предложить ученым необходимую аппаратуру. Вот почему к проблеме биотоков вернулись лишь в 1957 г.

Итак, учеными было установлено, что сокращению мышц всегда предшествует электрический сигнал. Необходимо лишь послать к мышце приказ, чтобы она сократилась, и электрический сигнал изменится. Величина этого сигнала зависит от напряжения или скорости сокращения мышц, и может произвольно изменяться самим человеком. Значит, мысль человека вызывает сокращение мышцы и появление биоэлектрического сигнала.

В 1957 г. советские инженеры и врачи объединили свои усилия и начали поиски в области создания системы биоэлектрического управления, в результате чего был создан протез руки, управляемый с помощью биопотенциалов, снимаемых с мышцы руки. Правда, первый образец усилителя биотоков был величиной с обеденный стол. Тогда опытная модель усилителя биотоков управляла шаговым электродвигателем, приспособленным от станка с программным управлением. В свою очередь электродвигатель управлял действующей моделью человеческой руки.

Несмотря на громоздкость конструкции, в то время было сделано самое главное: была принципиально решена проблема, о которой не смели мечтать авторы даже самых смелых фантастических рассказов — проблема управления с помощью биотоков механическим движением. Получалась простая, но очень захватывающая картина: мысль (невысказанное желание) управляет сокра-

щением мышцы — в мышце рождаются биотоки, которые усиливаются и управляют механической моделью (протезом) руки. Правда, большие размеры установки в то время не позволили практически применять это открытие. Но шло время. Ламповые усилители постепенно вытеснялись полупроводниками. Транзисторы помогли во много раз уменьшить объем радиоэлектронной аппаратуры.

Утрата руки трагична. Человек теряет непревзойденный инструмент. Он уже не сможет быть ни кузнецом, ни токарем, ни пахарем. Теряется и нечто большее. Созидательные отделы мозга становятся в тупик. Как бы ни пылало, ни буйствовало воображение, оно не в состоянии родить ни Ньютона, ни Рахманинова, ни Репина. Поэтому много веков подряд с неотступной страстью человечество ищет способ восстановить руку.

И вот словно прорыв из мрака. Сейчас стало возможным создать протез руки с биоэлектрическим управлением. Тысячи людей, потерявших руки, смогут вернуться к созидательному труду, обрести веру в свои силы, познать счастье творчества.

Первые протезы управлялись усилителями, укрепленными на поясе. А сейчас уже созданы усилители биотоков, умещающиеся в гильзе протеза. В 1970 г. советским ученым была присуждена Государственная премия за создание биоэлектрических протезов.

О значении этого открытия очень образно сказал в своей последней книге «Бог и Голем» отец кибернетики Норберт Винер.

«Представим себе,— пишет Винер,— что человек лишился кисти руки. Он лишился некоторых мышц, которые помогают ему сжимать и разжимать пальцы, однако большая часть мышц, обычно двигающих рукой, сохранилась в культе локтевой части руки... Эти мышцы хотя и не могут привести в движение кисть и пальцы, которых нет, но они вызывают некоторые электрические эффекты, называемые потенциалами действия. Эти потенциалы могут восприниматься соответствующими электродами, а затем усиливаться и преобразовываться транзисторными схемами. Такие потенциалы можно использовать для управления движениями искусственной руки при помощи миниатюрных электродвигателей, которые питаются от батареи и аккумуляторов... Источником управляющих сигналов служит обычно центральная часть нервной системы... Подобные искусственные руки были уже изготовлены в России, и они даже позволили некоторым инвалидам вернуться к производительному труду».

Протезирование — далеко не единственная область, где могут быть применены системы биоэлектрического управления.

В наш век космонавтики нетрудно представить себе такую картину. Космический корабль на старте. До пуска считанные секунды. Нажатие на кнопку и ракета взмыла ввысь. Непреодолимая сила вдавливает космонавта в кресло. Гигантская тяжесть сковала его тело. Перегрузка делает невозможным управление космическим кораблем при взлете и спуске.

У космонавта сохраняется способность рассуждать, но из-за перегрузок, возникающих при взлете, он лишен физической возможности осуществлять управление. Представим себе, что на плечи и предплечья космонавтов надеты датчики биоэлектрического управления. Мысленный приказ мышцам и электрический сигнал поступает в усилитель биотоков. Биотоки усиливаются и используются для управления механическими приводами.

Если оператор, управляющий прокатным станом, блюмингом или другой какой-либо установкой, будет снабжен системой биоэлектрического управления, то его реакция и сила возрастут во много раз.

А теперь попросим оператора встать со своего кресла и отойти от него на несколько метров или тысячу километров. Сохраните между ним и объектом управления проводную, радио или биоэлектрическую связь, и механические руки, помещенные в том месте, где нужно человеку, будут несколько замедленно, но точно повторять движения живых рук. Чтобы осуществить управление манипулятором, понадобится система обратной связи, например телевизионная камера манипулятора и телевизионный приемник оператора, позволяющие контролировать движения искусственных рук.

Приведенный пример проиллюстрировал область применения биоэлектрического управления. Современная техника имеет в своем распоряжении новые радиотехнические элементы, с помощью которых стало возможным создание простых и надежных систем биоэлектрического управления.

В настоящее время изготовление биоэлектрической системы может осуществить радиолюбитель средней квалификации. Демонстрация биоэлектрической системы всегда вызывает живейший интерес присутствующих.

Демонстратор надевает на руку резиновую манжету, под которой находятся токосъемники. Невидимое для глаза сокращение мышц руки — и поезд монорельсовой дороги, расположенной на макете города, зажигает фары и медленно трогается с места, набирая скорость. С большой скоростью движется поезд по замкнутому кругу. Еще одно сокращение мышцы, и поезд плавно останавливается.

Таким же образом можно мысленно приказать поезду изменить направление движения. Работа системы биоэлектрического управления демонстрировалась на действующем макете, на котором были смонтированы железная и монорельсовая дороги. Макет представляет собой планшет размером 1200 × × 600 *мм*, на котором в одну сотую натуральной величины изображена часть города.

С помощью переключателя усилитель биотоков переключается с управления монорельсовой дороги на управление двухрельсовой дороги и обратно.

Прежде чем рассказать, как самому изготовить усилитель биотоков, несколько слов о том, как правильно снять биоэлектрический сигнал с мышцы руки. Величина снимаемого сигнала пропорциональна работе, которая затрачивается на сокращение мышцы. Снятие сигнала осуществляется с помощью электродов, которые представляют собой пластинки свинцовой или медной фольги с припаянным к ним экранированным проводом. Многожильный экранированный провод оканчивается трехштырьковым разъемом... Место, куда должны быть наложены электроды (место съема биопотенциалов), протирается спиртом, чтобы удалить кожные жировые выделения. Электроды накладываются на предплечье и укрепляются с помощью резинового жгута. Чрезмерно тугой резиновый жгут может нарушить работу мышц, поэтому нужно следить за тем, чтобы мышца сокращалась легко, без сильного напряжения.

Система биоэлектрического управления (рис. 52) состоит из трех узлов: усилителя напряжения, детектора, усилителя постоянного тока (усилитель исполнительного устройства вместе с реле). Эти узлы образуют блок.

Направление вращения электродвигателя исполнительного устройства (электродвигатель, приводящий в движение вагон) изменяется, поэтому используются два канала *А* и *Б*, одинаковые по схеме и устройству. Канал *Б* аналогичен каналу *А*. Сигнал, снятый с мышц токосъемниками $А_1$ и $А_2$, поступает на вход усилителя блока канала *А*. Как известно, для совершения движения необходима работа нескольких мышц (не менее двух). Токосъемники $Б_1$ и $Б_2$ снимают потенциал с другой мышцы руки (по отношению к токосъемникам $А_1$ и $А_2$). Сигнал, снятый с мышцы токосъемниками $Б_1$ и $Б_2$, поступает на второй вход усилителя блока (канал *Б*).

Таким образом, на входе двух усилителей появятся сигналы, которые возникли при сокращении двух мышц. Один сигнал снимается с мышц, сгибающих кисть, другой — с мышц, которые ее разгибают. Один из них преобразуется в команду «ход вперед», другой — «ход назад». В зависимости от того, с какой мышцы снят больший по величине сигнал, на выходе соответствующего усилителя будет большее по величине напряжение. Направление вращения двигателя зависит от величины сигнала на входах усилителей. Если биоэлектрический сигнал на токосъемниках $А_1$, $А_2$ больше по величине, чем на токосъемниках $Б_1$, $Б_2$, то сработает реле $Р_1$ усилителя и электродвигатель начнет вращаться. Если уровень сигнала на токосъемниках $Б_1$, $Б_2$ станет большим по величине, чем на токосъемниках $А_1$, $А_2$, то электродвигатель изменит направление вращения.

Усилитель напряжения собран на трех транзисторах типа МП39Б. На входе усили-

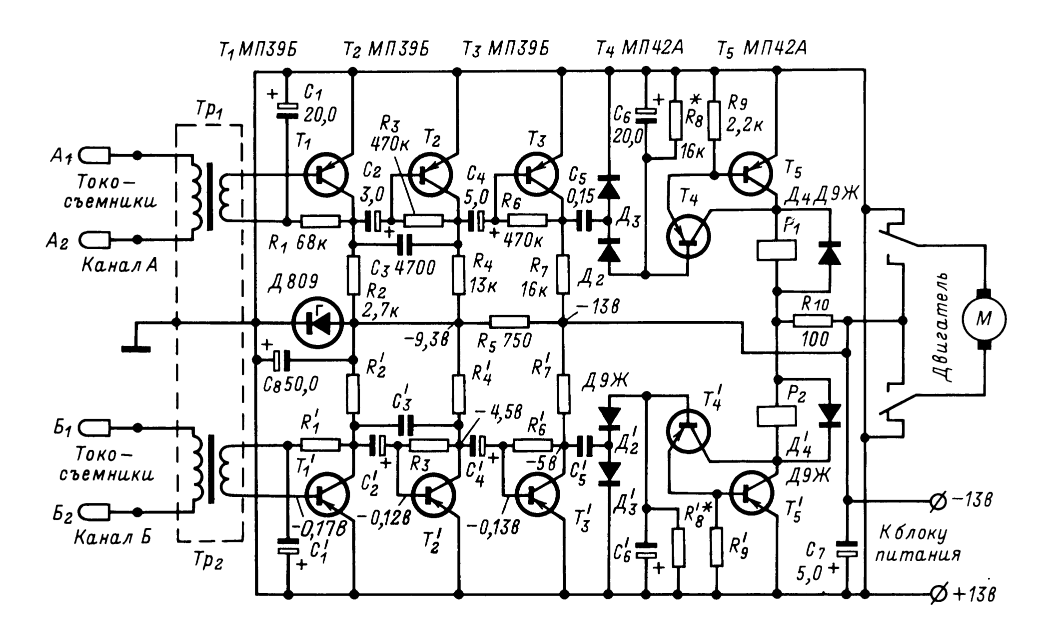


Рис. 52. Принципиальная схема системы биоэлектрического управления.

теля напряжения включен трансформатор Tp_1 с коэффициентом трансформации 1 : 20, он заключен в пермаллоевый экран, уменьшающий влияние внешних электромагнитных помех. К первичной обмотке трансформатора подключены токосъемники, которые представляют собой пластинку, покрытую токопроводящей пастой из смеси глицерина (две части), спирта (одна часть) и очень мелкого абразива (две части). Провода, соединяющие первичную обмотку трансформатора с токосъемниками, должны быть тщательно экранированы. Вторичная обмотка трансформатора включается одним концом на базу транзистора T_1, а другим через электролитический конденсатор C_1 на общую шину питания.

Сигнал со вторичной обмотки поступает на базу транзистора T_1, включенного по схеме с общим эмиттером. С коллекторной нагрузки R_2 транзистора T_1 через разделительный конденсатор C_2 сигнал поступает на базу транзистора T_2 и через электролитический конденсатор C_4 на третий каскад усилителя напряжения, собранного на транзисторе T_3.

Общее усиление усилителя напряжения достигает примерно 11 000, чувствительность его 30—40 *мкв*. Для улучшения частотной характеристики усилителя второй каскад охвачен отрицательной связью (конденсатор C_3, резистор R_3). С коллекторной нагрузки транзистора T_3 усиленный сигнал подается через конденсатор C_5 на выпрямитель (детектор), выполненный на диодах $Д_2$ и $Д_3$. Для сглаживания пульсаций на выход детектора включается электролитический конденсатор C_6. После детектора сигнал подается на усилитель постоянного тока, собранного на транзисторах T_4 и T_5 типа МП42А. В цепь коллектора транзистора T_5 включено реле РЭС-10, которое управляет работой двигателя M.

В том случае, если на входы обоих каналов поступят одинаковые по величине сигналы, то станет возможным одновременное срабатывание реле P_1 и P_2. Для предотвращения одновременного срабатывания этих реле в цепь питания усилителей постоянного тока T_4T_5 и $T'_4T'_5$ включен резистор R_{10}. Усилитель питается от аккумуляторной батареи напряжением 12 *в*.

Конструктивно усилитель напряжения, детекторы и усилители постоянного тока монтируются на плате из фольгированного текстолита размером 40 × 85 *мм*. При монтаже усилителя напряжения использованы транзисторы с коэффициентом усиления, равным 80—100. Диоды $Д_2$ должны иметь обратное сопротивление не менее 1,5 *Мом* и могут быть типов Д2, Д9. Можно применить двигатель типа ДП-1-13.

Налаживание усилителя биотоков производится с помощью генератора низкой частоты и осциллографа. Усилитель биотоков можно использовать для управления не только монорельсовой дорогой, но и многими другими объектами, которые приводятся в движение с помощью электродвигателей.

Робот, описанный в начале этой книги, тоже может управляться усилителем биотоков. Такой усилитель может быть применен и для управления моделями автомобилей.

Легко представить себе автотрек, где происходят соревнования скоростных моделей, управляемых усилителями биопотенциалов. Победителем в таких соревнованиях окажется тот, у кого лучше будут натренированы мышцы руки.

Область применения усилителей биотоков огромна. Не за горами то время, когда при помощи усилителей биотоков человек сможет управлять самыми большими механизмами, затрачивая минимальное усилие.

ВИДЯЩИЙ «МАРСИАНИН»

Одна из многочисленных «заслуг» мозга человека — его способность к обучению. Показанный человеку образ запоминается им надолго и может быть опознан, даже если этот образ претерпел некоторые изменения. Мы узнаем знакомых через несколько лет, вспоминаем разные начертания цифр и букв. В зависимости от опознанного образа человек принимает те или иные решения и в своей практической деятельности.

Иначе обстоит дело с кибернетической машиной, работающей по заданной программе. В программу ее работы можно внести команды по запоминанию тех или иных образов. Но стоит хотя бы немного изменить какой-либо образ, как машина выходит из строя или начинает выдавать неточную информацию.

Склонившись над решением алгебраических задач, вы, не задумываясь, отличите А от В, а В от С. Увидев знак А, безошибочно узнаете этот символ, напечатан ли он в книжке строгим типографским шрифтом или написан не очень разборчиво в школьной тетради.

Заманчиво построить машину, которая бы подобно человеку распознавала цифры, знаки и т. п. Необходимость в подобном техническом устройстве есть уже сейчас. Появление современных вычислительных машин необычайно расширило возможности человека. Но электронные машины не удовлетворяют человека, они требуют тесного сотрудничества самого человека с машиной. Нужно, чтобы машина свободно читала формулы и чертежи, созданные человеком, переводила бы их на свой «язык», без помощи программистов. Для этих целей и нужны устройства типа перцептрона. Название узнающей машины (перцептрон) происходит от латинского слова perzeptto (перцептто) — понимание, распознавание. Она содержит чувствительное поле — набор фоторезисторов, каждый из которых может находиться лишь в двух состояниях — возбужденном

или невозбужденном, в зависимости от того, падает ли свет на соответствующий фоторезистор или он затемнен контуром проектируемой фигуры (рис. 53). Все фоторезисторы подключены к ряду элементов, называемых ассоциативными. Эти ассоциативные элементы имеют несколько входов и один выход. Они производят алгебраическое суммирование сигналов, поступающих на их входы, а полученную сумму сравнивают с пороговой, предельной величиной, заранее установленной для всех элементов. Уровень превышает порог срабатывания — элемент возбуждается, не превышает — не возбуждается. Подключение фоторезисторов к ассоциативным элементам производится случайно, т. е. их соединяют как угодно. Однако это случайно установившаяся связь между элементами в дальнейшем остается для перцептрона постоянной.

Выходные сигналы с ассоциативных элементов с помощью электронных усилителей умножаются на положительные и отрицательные коэффициенты. В процессе «обучения» перцептрона эти коэффициенты можно изменять. Выходные сигналы усилителей поступают на сумматор—устройство, которое суммирует поступающие сигналы. Полученная сумма может быть и положительной и отрицательной. Значение этой суммы регистрируется сигнальным элементом, например лампочкой.

Перцептрон такой конструкции сможет различать два различных образа. Делается это так. На поле фоторезисторов проектируется изображение какого-либо символа, допустим цифры 3. Регулируя некоторые умножающие усилители, можно добиться такого состояния, что при проецировании цифры 3 на поле фоторезисторов суммарный сигнал на выходе сумматора всегда будет положителен, т. е. лампочка будет загораться. При проецировании цифры 5 можно регулировкой других умножающих усилителей добиться появления только отрицательного суммарного сигнала. Перцептрон «обучен». Горящая лампочка сигнализирует о том, что перцептрон «узнал» цифру 3. Стоит показать цифру 5, и лампочка гаснет. Усложнив конструкцию перцептрона, можно «научить» его различать гораздо большее количество образов. Таким образом, машина может обучаться.

Структура такого перцептрона имеет отдаленное сходство со структурой высшей нервной системы человека. Поле фоторезисторов напоминает чувствительные элементы человеческого глаза. Ассоциативные же элементы имеют некоторое сходство с нейронами и нервными клетками, которые являются элементами порогового действия, т. е. срабатывают, если входной сигнал превышает некоторый порог.

А теперь познакомим читателя с принципом действия перцептрона, который получил название «Марсианин».

Конструктивно модель перцептрона состоит из трех блоков: блока фоторезисторов, образующего воспринимающую ячейку; блока реле, образующего модель ассоциативных элементов; светоплана образов — устройства, выдающего информацию. Корпус перцептрона (рис. 54) выполнен в виде вытянутой полусферы из листового алюминия. Он крепится тремя винтами к треноге.

В полусфере размещены блок фоторезистора, блок реле и выпрямитель. Фоторезисторы типа ФСК-Г2 установлены на алюминиевых платах размером 130 × 40 *мм*. Фоторезисторы имеют октальный восьмиштырьковый цоколь. Для крепления фоторезисторов используются ламповые панели

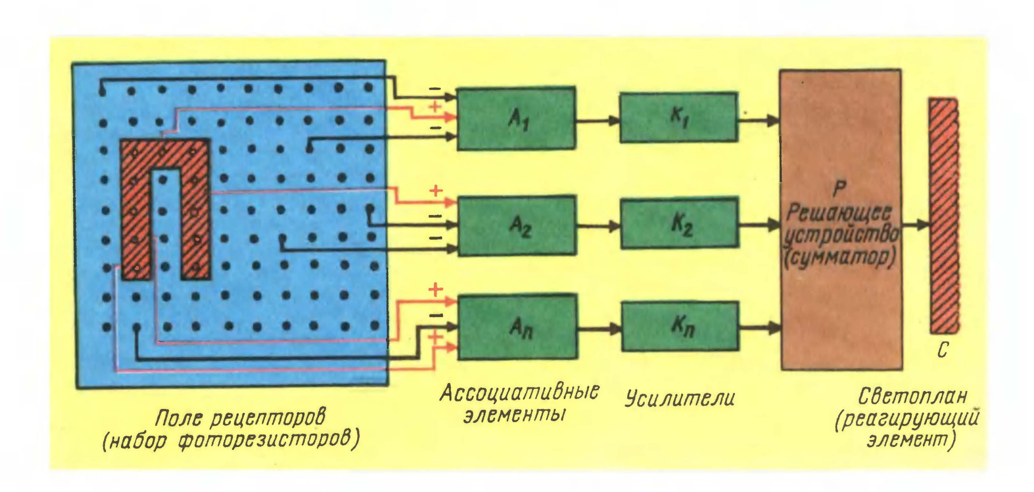


Рис. 53. Функциональная схема перцептрона.



Рис. 54. Внешний вид действующей модели перцептрона «Марсианин».

типа ПЛК-8. Монтаж устройства производится многожильным проводом марки МГШВ 0,35.

После окончания монтажа плата с ламповыми панелями крепится к корпусу винтами М3, затем производятся разметка и сверление отверстий в корпусе. Нужно следить за тем, чтобы отверстия в корпусе были немного больше, чем отверстия у фоторезисторов, закрытые стеклом. Это делается для того, чтобы свет полностью засвечивал фоторезистор. Блок реле смонтирован на круглой алюминиевой плате диаметром 315 *мм*, на которой установлены детали выпрямителя (трансформатор, дроссель, электролитические конденсаторы).

Все используемые реле — типа РКН, сопротивление обмотки 2 000 *ом*, провод ПЭЛ 0,1. Расположение реле и деталей выпрямителя видно на рис. 55.

Для питания прибора необходим выпрямитель, дающий напряжение 110 *в*. Выпрямитель собран по обычной двухполупериодной схеме. В качестве выпрямительных элементов применены диоды типа Д303, укрепленные на медных радиаторах. Площадь каждого радиатора 6 $см^2$. Сердечник трансформатора набирается из железа Ш25 × × 25. Сетевая обмотка содержит 1 720 витков провода ПЭВ 0,32, вторичная — 940 витков провода ПЭВ 0,5. Дроссель $Др_1$ намотан на железе Ш20 × 20 проводом ПЭВ 0,3, количество витков 300. Электролитические конденсаторы типа КЭ-2.

Светоплан образов (реагирующее устройство) сделан в виде овального экрана из органического стекла толщиной 4 *мм*. В светоплане применены лампы накаливания 110 *в*, 15 *вт*.

Как видно из принципиальной схемы (рис. 56), фоторезистор $Ф_1$ соединен последовательно с реле P_1, фоторезистор $Ф_2$ соединен последовательно с реле P_2 и т. д. При попадании света на фоторезистор $Ф_1$ его сопротивление резко падает и срабатывает реле P_1. Аналогичный процесс происходит при попадании света на другие фоторезисторы.

Контактные группы реле коммутируют схему таким образом, что зажигается лампа, высвечивающая опознаваемый образ.

Машина «Марсианин», построенная радиолюбителями,— это действующая модель перцептрона. Устройство является наглядным и полезным для демонстрации и объяснения идей и принципов, лежащих в основе перцептрона.

Если вас заинтересовал наш «Марсианин» и вы решили его построить, попробуйте усложнить конструкцию, введя элементы памяти, «научите» перцептрон различать большее количество образов.

В настоящее время коллективом радиолюбителей Свердловского Дома пионеров создана новая кибернетическая машина, которая может не только опознавать цифры, но и производить над ними арифметические действия. Машина получила название «Молния». «Молнию» научили опознавать четыре цифры: 1, 2, 3, 4. Одновременно могут быть опознаны две цифры, причем они могут быть и одинаковыми. Если показать «Молнии» две любые цифры из этого же ряда, то она их сложит или умножит. Результаты действий машина запоминает.

«Молния» несложна в изготовлении, не содержит дефицитных деталей и может быть без труда собрана в кружке юных кибернетиков. «Молния» состоит из опознающего, решающего устройств, узла питания и индикаторного устройства (светоплан). На рис. 57 показана принципиальная схема опознающего устройства перцептрона. Перцептрон имеет два аналогичных канала (по числу слагаемых или перемножаемых цифр). Все элементы первого канала имеют индекс *а*, второго — индекс *б*.

Рецепторами перцептрона являются две матрицы фоторезисторов. Матрица *а* состоит из фоторезисторов $Ф1_а$, $Ф2_а$, $Ф3_а$ и $Ф4_а$, матрица *б* из фоторезисторов $Ф1_б$, $Ф2_б$, $Ф3_б$, $Ф4_б$. На рис. 58 показана матрица с расположенными на ней цифрами. Как

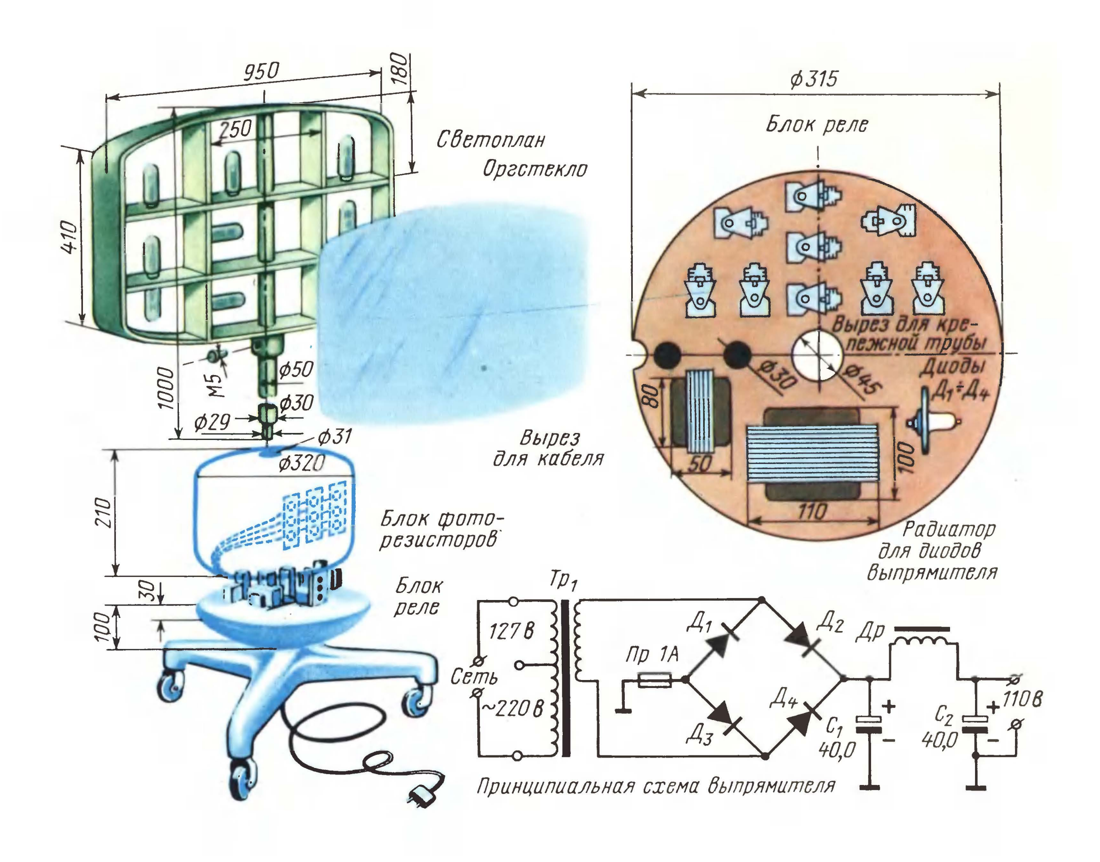


Рис. 55. Расположение деталей и конструктивная схема перцептрона «Марсианин».

видно из рисунков, каждой цифре соответствует свой незакрытый цифрой фоторезистор. Так, цифре *1* соответствует $Ф1_а$, цифре *2* — $Ф2_а$ и т. д. На рис. 56 видно, что последовательно с каждым фоторезистором включено реле, имеющее тот же номер, что и фоторезистор.

Если фоторезистор осветить, то его сопротивление уменьшится. Пусть, например, на матрицу *а* наложена цифра *1* (рис. 58), а на матрицу *б* цифра *3* (см. рис. 57). Если теперь нажать кнопку счета ($К_{сч}$), то загорятся осветительные лампочки $ЛО_а$ и $ЛО_б$. Сопротивления фоторезисторов $Ф1_а$ и $Ф3_б$ уменьшатся. Реле $Р1_а$ и $Р3_б$ сработают и на светоплане загорится соответствующая лампочка.

Вот таким образом «Молния» опознает предъявленные ей цифры. Как видим, ассоциирующие ячейки и эффекторное устройство слились здесь воедино и выполнены на реле $Р1_а$, $Р4_а$ и $Р1_б$, $Р4_б$. Запоминание предъявленных цифр осуществляется нормально разомкнутыми контактами этих реле. Как только реле сработает, его нормально разомкнутые контакты замкнутся и подключат обмотку реле к источнику питания, минуя фоторезистор. После этого можно отпустить кнопку $К_{сч}$, лампочки $ЛО_а$ и $ЛО_б$ гаснут, но машина запомнит введенные в нее цифры, так как реле стало на самоблокировку. Чтобы «стереть» в «памяти» устройства «увиденное», следует нажать кнопку сброса $Кн_{сб}$. При этом контакты реле отключаются от источника питания и обмотки реле обесточиваются.

Решающее устройство модели выполнено на нормально разомкнутых контактах реле $Р1_а$, $Р4_а$ и $Р1_б$, $Р4_б$. Каждое реле имеет по шесть нормально разомкнутых контактов. Срабатывание любого реле означает, что в решающее устройство введена соответствующая цифра.

Принципиальная схема решающего устройства изображена на рис. 59.

Разбор работы решающего устройства начнем с операции суммирования. Переключатель $П_1$ устанавливается в положение «сумма», а при умножении — в положение «произведение».

Работу решающего устройства рассмотрим на конкретном примере. Пусть, напри-

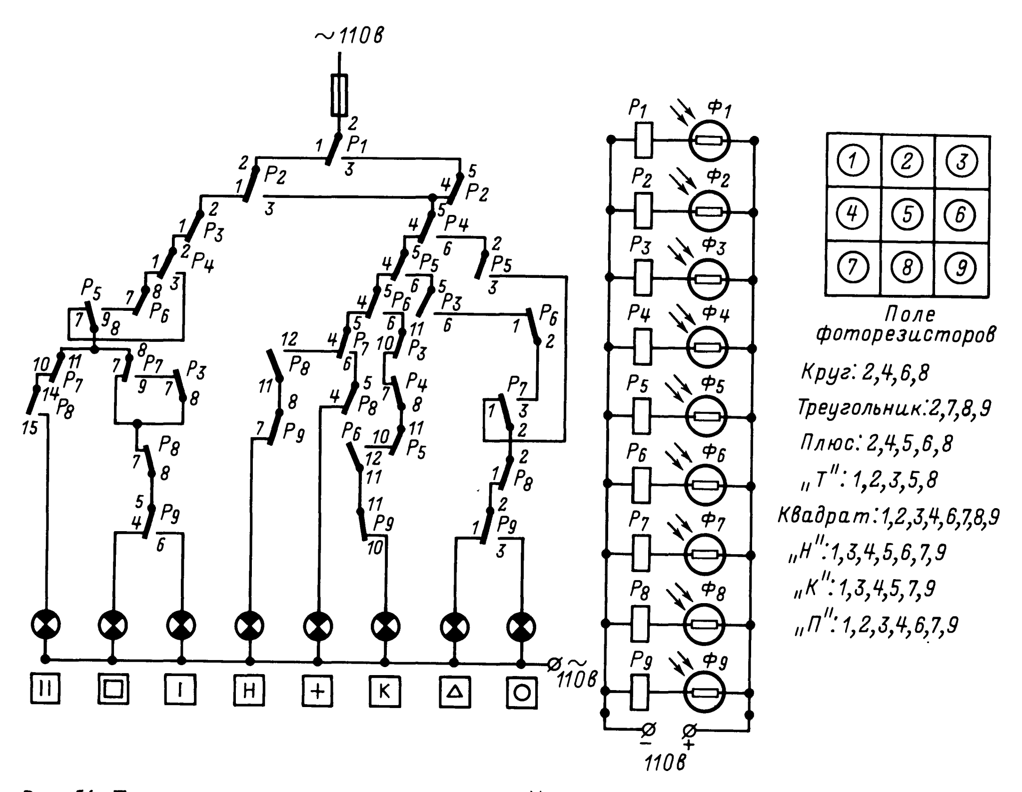


Рис. 56. Принципиальная схема перцептрона «Марсианин».

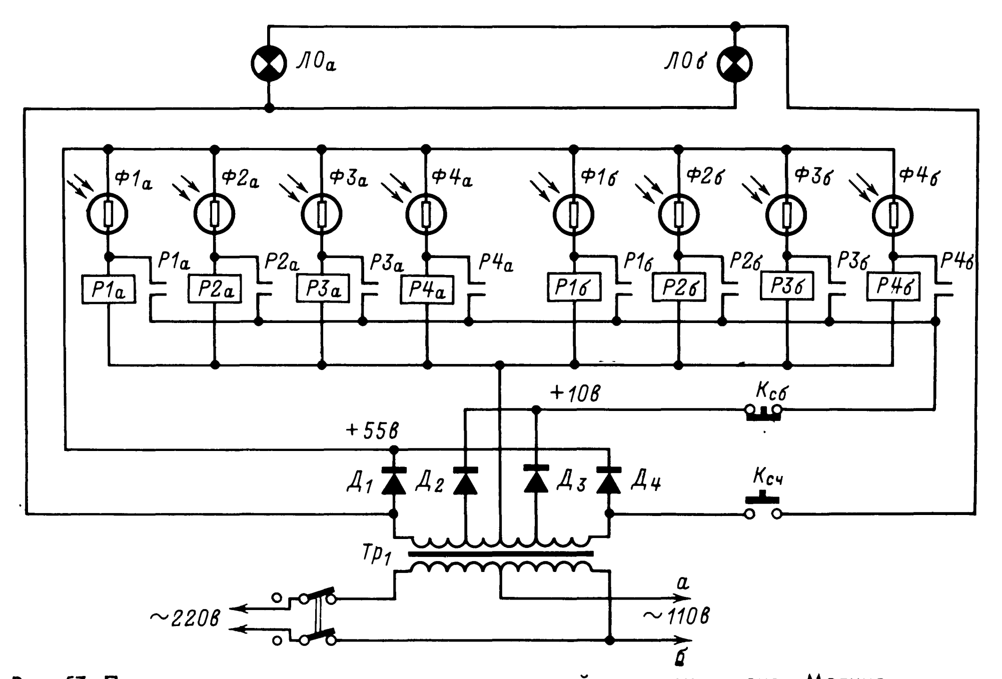


Рис. 57. Принципиальная схема опознающего устройства перцептрона «Молния».

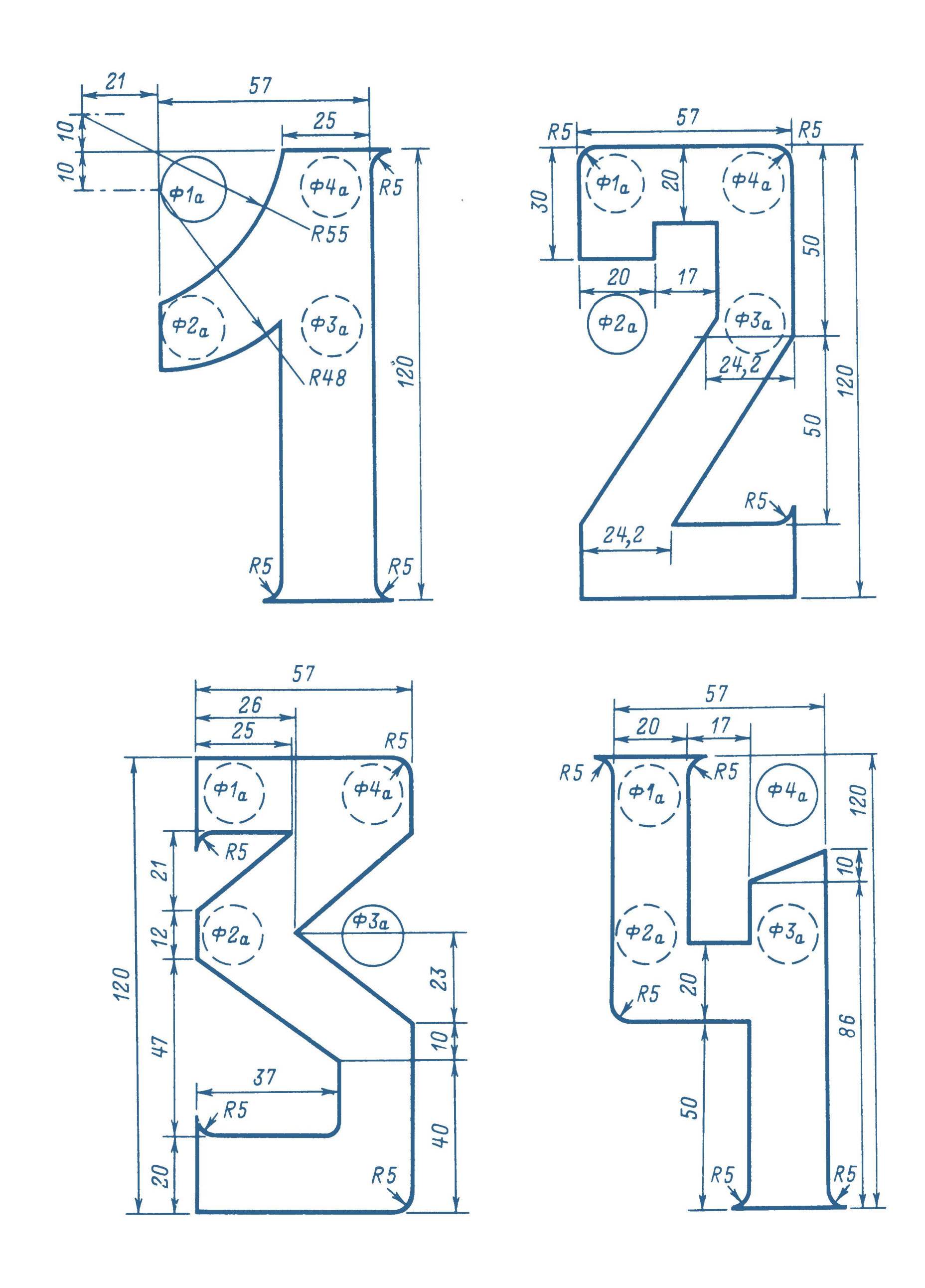


Рис. 58. Матрица с расположенными на ней цифрами.

мер, машине предъявлены цифры *2* (канал *а*) и *4* (канал *б*). При этом срабатывают реле *Р2*а и *Р4*б. Если переключатель $П_1$ установлен в положение «сумма», то, как видно из схемы, напряжение поступает на лампочку $Л_6$ и она загорается, подсвечивая цифру *6* на светоплане. Если же переключатель $П_1$ установлен в положение «произведение», то напряжение подается на лампочку $Л_8$, подсвечивающую цифру *8*. Аналогично действует решающее устройство и в других случаях.

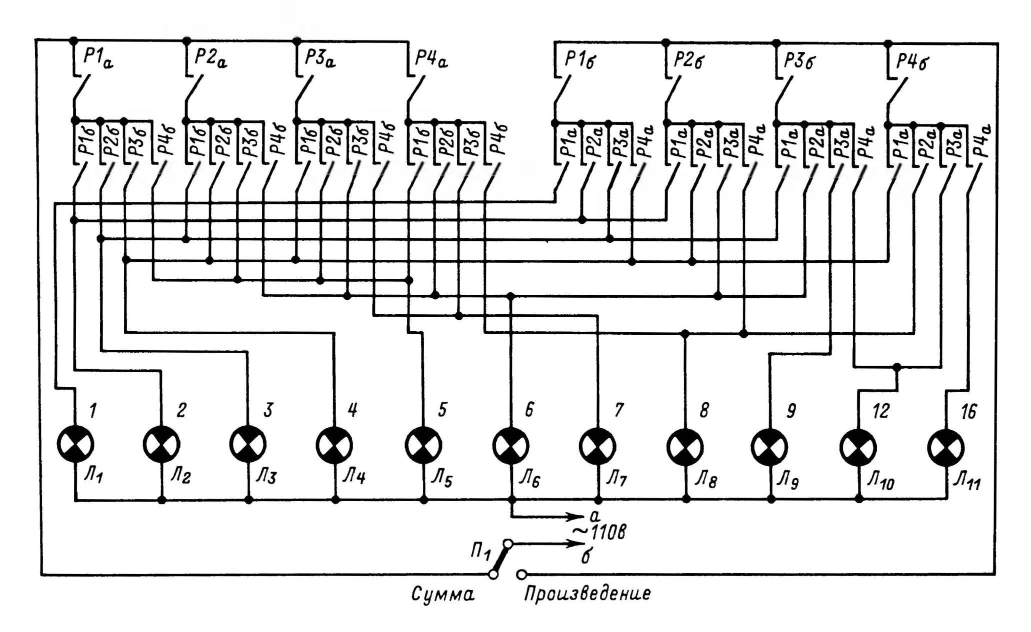


Рис. 59. Принципиальная схема решающего устройства.

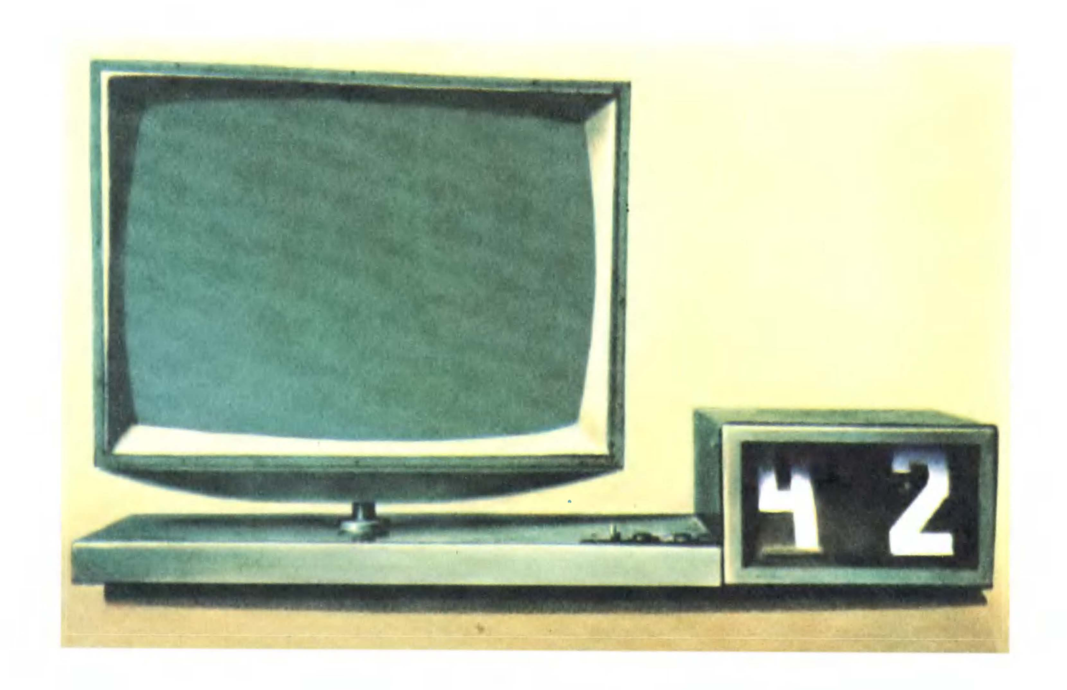


Рис. 60. Внешний вид модели перцептрона «Молния».

Конструкция и детали. Конструктивно «Молния» выполнена из двух блоков: логический блок и экран (светоплан).

В логическом блоке размещены реле, фоторезисторы, силовой трансформатор, диоды и осветительные лампочки для освещения вводимых в машину цифр. В приборе применены реле типа РКН. Сопротивление обмотки реле 600 *ом*.

Для крепления фоторезисторов используются восьмиштырьковые ламповые панели типа ПЛК-8. Ламповые панели монтируются на алюминиевом листе толщиной 1,5 *мм*. Если под рукой не окажется алюминиевого листа, то его можно заменить листовым железом толщиной 1 *мм*.

В «Молнии» применены фоторезисторы типа ФСК-Г2. Если таких фоторезисторов не удается найти в продаже, их можно заменить другими, например типа ФСК-Г1, но предварительно нужно их испытать. Мощность осветительных ламп $ЛО_а$ и $ЛО_б$ равна 15 *вт*. Расстояние от лампы до фоторезистора составляет 150 *мм*.

Если реле не сработало, то следует взять реле с меньшим током срабатывания либо увеличить мощность осветительных ламп. Узел питания имеет следующие напряжения: 110 *в* переменного тока для питания индикаторных ламп, 110 *в* переменного тока для питания осветительных ламп, 55 *в* постоянного тока для питания реле и фоторезисторов, 10 *в* постоянного тока для питания реле в режиме самоблокировки. Выпрямитель собирается по двухполупериодной схеме выпрямления со средней точкой. В нем использованы диоды типа Д226. Возможна их замена на диоды типа Д7Ж. Осветительные лампы питаются от вторичной обмотки трансформатора.

Для того чтобы индицировать ответы, прибор снабжен экраном. Экран выполнен из листового органического стекла толщиной 2,5 *мм* и матирован наждачной бумагой или используется опаловое оргстекло. Он является передней стенкой плоского светонепроницаемого кожуха. Глубина кожуха 70 *мм*, он выполнен из алюминия толщиной 1,5 *мм*. Кожух разделен на 11 светонепроницаемых ячеек. В верхнем ряду 6 ячеек, а в нижнем 5. Первые 9 ячеек имеют размеры 100 × 100 *мм*, две последние — 100 × × 150 *мм*. В каждую ячейку установлена индикаторная лампа. На органическое стекло против каждой ячейки наклеивается черная бумага с вырезанной цифрой. Когда загорается лампочка, цифра на экране светоплана ярко светится. Первая ячейка индицирует цифру *1*, вторая *2* и т. д. вплоть до девятой ячейки. Десятая ячейка индицирует цифру *12*, одиннадцатая — цифру *16*. Цифры, которые накладываются на матрицы, вырезаются из любого плотного непрозрачного материала по размерам, приведенным на рис. 58. Внешний вид перцептрона «Молния» показан на рис. 60.

ПРОЩАЯСЬ С ЧИТАТЕЛЕМ

Прочитана эта небольшая книга. Читателю приоткрылась малая часть огромной страны Кибернетики.

Путешествие в эту страну было кратким, но как ни краток был наш рассказ об этой молодой науке, все же можно представить себе, какое большое место занимает теперь кибернетика в нашей жизни.

Вы прочли о роботах, о математических машинах, о биоэлектрическом управлении, о перцептроне, познакомились с другими, не менее интересными кибернетическими устройствами.

Автор ставил перед собой задачу не только рассказать о некоторых разделах кибернетики, но и помочь читателю научиться монтировать простые кибернетические приборы и модели. Некоторые из этих приборов вы сможете изготовить сразу, к другим обратитесь немного позже, когда пополнится багаж ваших знаний и умений. Это нелегкое дело. Оно требует труда, настойчивости, терпения. В процессе работы может случиться, что какой-то прибор не начнет сразу работать. Важно не разочаровываться, не оставлять начатое дело и добиваться победы.

Страна «Кибернетика» — быстро растущее «государство», она развивается семимильными шагами. И то, что сегодня кажется новым, совершенным, интересным, завтра может безнадежно устареть. Нужно непрерывно учиться углублять и совершенствовать свои знания. На этом пути вашими помощниками станут книги, научно-популярные журналы.

Сегодня вы осваиваете азы кибернетики. Пройдет совсем немного времени, и многие из вас создадут новые кибернетические машины, сделают новые открытия, сядут за пульты космических кораблей.

Творите, думайте, дерзайте! От первых самодельных кибернетических приборов к новым открытиям в кибернетике — это расстояние не так уже велико. И если эта книга хоть чуть-чуть поможет вам на этом пути, значит, задача, которую автор ставил перед собой, выполнена.

Автор и издательство закончили свою работу. Но подлинную жизнь книге дает ее читатель. Поэтому мы будем признательны читателям за их пожелания и замечания, которые они могут направить по адресу: 113114, Москва, М—114, Шлюзовая набережная, 10, изд-во «Энергия», редакция Массовой радиобиблиотеки.

Автор

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

К ГЛ. 1

Гаазе-Рапопорт М. Г. Автоматы и живые организмы. М., Физматгиз, 1961, 223 с.

Павлов Ю. В., Гордин А. Б. Чудесный помощник. Свердловск, Средне-Уральское книжное издательство, 1964, 169 с.

Гордин А. Б., Горшков А. Ф. Часы-робот. — «Моделист-конструктор», 1967, № 9, с. 35—36.

Гордин А. Б. АРС дает интервью. — «Моделист-конструктор», 1967, № 1, с. 30—31.

Простая кибернетика. М., «Молодая гвардия», 1965, 150 с.

Иванов Р. А. Кибернетический «кот». — «Радио», 1962, № 1, с. 30—32.

Мацкевич В. Г. Анатомия роботов. — «Моделист-конструктор», 1968, № 3, 5, 8, 11.

Тайницкий В. Г. Опыты с «черепахой».— «Моделист-конструктор», 1969, № 1, 3, 4, 5.

Иштван Чато. Умные машины. Будапешт, «Корвина», 1963, 190 с.

К ГЛ. 2

Касаткин В. Н. Азбука кибернетики. М., «Молодая гвардия», 1968.

Фомин С. В. Система счисления. М., «Наука», 1964, 41 с.

Беркли Э. Символическая логика и разумные машины, М., Изд-во иностр. лит. 1961, 233 с.

Греневский Г. А. Кибернетика без математики. М., «Советское радио», 1964, 181 с.

Тукачинский М. С. Машины-математики. М., Физматгиз, 1958.

Комский Д. М., Гордин А. Б. Увлекательная кибернетика. Свердловск, Средне-Уральское книжное издательство, 1969, 216 с.

Смирнов А. Д., Современные математические машины. М., Физматгиз, 1959, 112 с.

Кобринский Н. Е., Пекелис В. Д. Быстрее мысли. М., «Молодая гвардия». 1963, 338с.

О некоторых вопросах современной математики и кибернетики. М., «Просвещение», 1965, 531 с.

Пекелис В. Э. Маленькая энциклопедия о большой кибернетике. М., «Детская литература», 1970, 276 с.

Пекелис В. Э. Кибернетическая смесь. М., «Знание», 1970, 238 с.

К ГЛ. 3

Гутенмахер Л. И. Электронные информационно-логические машины. М., АН СССР, 1962, 199 с.

Льюс Р., Райфа Х. Игры и решения. М., Изд-во иностр. лит., 1961, 642 с.

Теплов Л. П. Очерки о кибернетике. М., «Московский рабочий», 1963, 413 с.

Крайзмер Л. И. Устройства для хранения дискретной информации. М., Госэнергоиздат, 1961, 85 с.

Батраков В. А., Богатырев В. И. Электронные цифровые машины для решения информационно-логических задач. М.—Л., «Энергия», 1964, 80 с.

Богатырев А. Н. Логические машины. — «Юный техник», 1964, № 11, с. 28—30.

Автоматизация производства и промышленная электроника. Энциклопедия, т. 1. М., «Сов. энциклопедия», 1964, с. 434—436.

Вентцель Е. С. Элементы теории игр. М., Физматгиз, 1961, 67 с.

Вильямс Дж. Д. Совершенный стратег или букварь по теории стратегических игр. М., «Советское радио», 1960, 269 с.

Поспелов Д. А. Игры и автоматы. М.—Л., «Энергия», 1966, 133 с.

Полетаев И. А. Сигнал. М., «Советское радио», 1958, 403 с.

Борисов Е. Г. Играющий автомат. — «Юный техник», 1964, № 5, с. 15—17.

Верхало Ю. Н. Кибернетическая игротека. — Приложение к журналу «Юный техник», М., «Малыш», 1965, № 18 (228), с. 1—3.

Комский Л. М. Модель игровой системы автоматического управления. — «Школа и производство», 1969, № 2, с. 34—37

Шеннон К. Э. Играющие машины. — «Кибернетический сборник», 1960, № 1, 290 с.

К ГЛ. 4

Кондратьева И. В., Кондратьев Е. Н. Нейрон отвечает на сигнал. М., «Наука», 1967, 55 с.

Арбиб М. В. Мозг, машина и математика. М., «Наука», 1968, 223 с.

Напалков А. В. Информационные структуры и мозг. М., «Знание», 1969, 30 с.

Грей Уолтер. Живой мозг. М., «Мир», 1968, 299 с.

Гордин А. Б. Модель решающего устройства с опознаванием цифровой информации «Молния», Методические пособия для школьного конструкторского кружка (в помощь преподавателям и студентам). Свердловск, 1970, с. 25—29.

Гордин А. Б. Пульт управления — мозг. — «Моделист-конструктор», 1970, № 8, с. 17—18.

Антомонов Ю. Г., Харламов В. А. Кибернетика и мозг. М., «Советская Россня», 1968, 327 с.

Литенецкий И. Б. Беседы о бионике. М., «Наука», 1968, 591 с.

Сапарина Е. П. Кибернетика внутри нас. М., «Молодая гвардия», 1962, 302 с.

Прохоров А. И. Инженер учится у природы. М., «Знание», 1967, 124 с.

Кобринский А. Кто — кого? М., «Молодая гвардия», 1964, 287 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

АРКАДИЙ БОРИСОВИЧ ГОРДИН

Занимательная кибернетика

Редактор А. И. Галушкин
Редактор издательства В. А. Абрамов
Обложка художника А. А. Иванова
Технический редактор Н. А. Галанчева
Корректор А. К. Улегова

Сдано в набор 16/VII-73 г. Подписано к печати 12/XII-73 г
Т-17629 Формат 70×100[1]/16 Бумага офсетная № 1 Усл печ. л. 5,20 Уч-изд. л. 6,17 Тираж 100 000 экз. Заказ 1175
Цена 35 коп.
Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб, 10.

Чеховский полиграфический комбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Чехов, Московской области.

Цена 35 коп.